

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

**Konstrukční návrh svařovacího stroje
pro navařování tvrdokovu**

Design of a Welding Machine for Hard
Metal Surfacing

Student:

Bc. Martin Sněhota

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Sněhota**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Konstrukční návrh svařovacího stroje pro navařování tvrdokovu**
Design of a Welding Machine for Hard Metal Surfacing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Vypracujte konstrukční návrh svařovacího stroje dle firemní specifikace. Vytvořte výrobní dokumentaci (sestava a vybrané výrobní výkresy) a výpočtovou průvodní zprávu.

Konkrétní specifikace stroje:

1. Maximální průměr upnutí 2250 mm.
2. Nosnost polohovadla 2200 kg.
3. Rozsah sklonu polohovadla 0-90°.
4. Integrace 3 hořáků pro předeřev.
5. Pracovní schody / plošina pro práci při maximální výšce obrobku,
6. Štít / závěs proti záření.

Seznam doporučené odborné literatury:

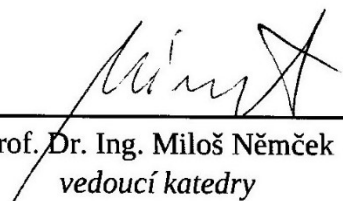
1. KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
2. KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovacích*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. 91 s. Dotisk 1. vyd. 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

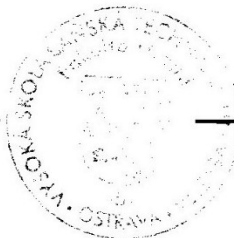
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.**

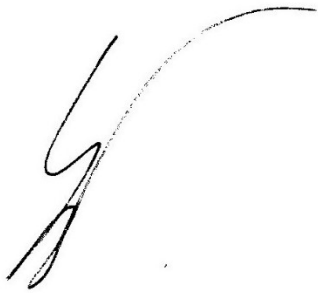
Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry





prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019.

Handwritten signature of Martin Jechota in black ink, written over a dotted line.

Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 6, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Spolupracující společnost:

ARMATURY Group a.s.
Nádražní 129
747 22 Dolní Benešov

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Ing. Lukáš Kušnír

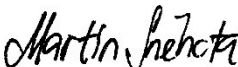
V Ostravě dne 20. května 2019.

.....
Podpis oprávněné osoby

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019.

.....

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Martin Sněhota

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Osada míru 317

747 22 Dolní Benešov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SNĚHOTA, M. *Konstrukční návrh svařovacího stroje pro navařování tvrdokovu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2019, 64 s. Vedoucí práce: Pišťáček, D.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem svařovacího stroje pro navařování tvrdokovu na těsnící prvky armatur velkých průměrů. V úvodu práce je rozbor problematiky navařování po teoretické stránce a mechanizace navařování. Následuje vlastní návrh svařovacího stroje. Vlastní návrh obsahuje výpočtovou zprávu, popis a postup návrhů jednotlivých uzlů stroje. Těmito uzly jsou polohovadlo, polohovací systém navařovacího hořáku, mechanismus pro držení a polohování přehřívacích hořáků, schodiště s plošinou a ochranné prostředky proti záření do okolí svařovacího pracoviště. V závěru práce je zhodnocení dosažených výsledků. Sestavný výkres svařovacího stroje je uložen v příloze diplomové práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

SNĚHOTA, M. *Design of a Welding Machine for Hard Metal Surfacing: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, 64 p. Thesis head: Pišťáček, D.

Master thesis is dealing with design concept of a welding machine for hard metal surfacing on sealing surfaces of armatures. The introduction compares an analysis of hard metal surfacing by theoretical side and mechanization of welding. The next part is about design solution of welding machine. Designed solution includes calculation report, description and process of nodes design. The nodes contains positioner, positioning system for welding head, mechanism for positioning and fixing preheating burners, stairway with platform and protecting shield. At the end of thesis is an evaluation of achieved results. Drawing of designed welding machine is attached in the enclosure of the master thesis.

Obsah

Seznam použitých značek a zkratek	1
Úvod.....	5
1 Navařování.....	6
1.1 Opravy a renovace navařováním	7
1.2 Navařování ve výrobě nových součástí.....	7
1.3 Metody svařování	8
1.3.1 Svařování plamenem.....	9
1.3.2 Svařování elektrickým obloukem	9
1.3.3 Svařování plazmatem (PAW)	10
1.3.4 Svařování laserem	11
1.4 Navařovací materiály	12
2 Mechanizace procesu navařování	14
2.1 Svařovací polohovadla	14
2.1.1 Kladková polohovadla	14
2.1.2 Stolová polohovadla.....	15
2.1.3 Speciální polohovadla, univerzální manipulátory.....	16
2.2 Polohování hořáku.....	16
2.2.1 Lineární motor.....	17
2.2.2 Kuličkový šroub	17
2.2.3 Ozubený hřeben	18
2.2.4 Řetěz.....	18
2.2.5 Ozubený řemen	19
2.3 Svařovací a navařovací automaty.....	21
3 Návrh řešení.....	22
3.1 Polohovadlo.....	22
3.1.1 KSK PO 2500 SH	24

3.1.2	SWP PTA 4000-E	24
3.1.3	HBT-weld WP 5000.....	25
3.2	Polohování hořáku.....	25
3.2.1	Výpočet reakcí nosného ramene	28
3.2.2	Výpočet průhybu na konci hlavního nosníku	30
3.2.3	Výpočty pohonů.....	33
3.3	Návrh schodiště s plošinou.....	38
3.4	Polohovací mechanismus přehřívacích hořáků	39
3.4.1	Kontrola zajišťovacího čepu	41
3.4.2	Výpočet utahovacího momentu matice obruče	42
3.5	Ochrana proti záření	45
4	Závěr	47
5	Seznam použitých zdrojů a literatury	50
6	Seznam příloh	55

Seznam použitých značek a zkratek

zkratka	význam	jednotka
a	návrhová délka	[mm]
a_P	zrychlení posuvu	[m·s ⁻²]
b	návrhová délka	[mm]
d'	průměr stolu aktuálně používaného polohovadla	[mm]
d_1	průměr zajišťovacího čepu	[mm]
d_2	střední průměr závitu M30	[mm]
d_T	vnitřní průměr trubky obruče	[mm]
f_v	součinitel valení	[mm]
f_M	součinitel smykového tření mezi maticí a trubicí	[-]
f_T	součinitel smykového tření mezi trubicí a opěrnou čelní plochou čepu	[-]
f_Z	součinitel smykového tření na závitu	[-]
g	gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
$m_{40 \times 20}$	hmotnost tyče profilu 40x20 o délce 1000 mm	[kg]
m_H	hmotnost navařovacího hořáku	[kg]
m_{LD}	hmotnost lící desky polohovadla	[kg]
m_{LJz}	hmotnost lineárních jednotek horizontálního posuvu	[kg]
m_{PH}	hmotnost přehřívacího hořáku, včetně vidlice a spojovacích částí	[kg]
m_{Py}	hmotnost součástí posouvajících se ve směru y	[kg]
m_{Pz}	hmotnost součástí posouvajících se ve směru z	[kg]
m_R	hmotnost nosného ramene navařovacího hořáku	[kg]
m_{SS}	hmotnost svařované součásti	[kg]
m_{US}	hmotnost upínacích součástí	[kg]
$m_{VČ}$	hmotnost výsuvné části s třemi přehřívacími hořáky	[kg]
n	otáčky polohovadla	[min ⁻¹]
n'	otáčky aktuálně používaného polohovadla	[min ⁻¹]
n'_{\max}	maximální otáčky aktuálně používaného polohovadla	[min ⁻¹]
n'_{\min}	minimální otáčky aktuálně používaného polohovadla	[min ⁻¹]
n_P	otáčky kuličkového šroubu	[min ⁻¹]
p	stoupání kuličkového šroubu	[mm]

p_1	měrný tlak	[MPa]
p_2	měrný tlak	[MPa]
p_D	dovolený měrný tlak	[MPa]
p_{M30}	Stoupání závitu M30	[mm]
r'	poloměr aktuálně používaného polohovadla	[mm]
r_1	rameno	[m]
r_2	rameno	[m]
r_3	rameno	[m]
r_K	délka ramene utahovacího klíče	[m]
t_R	doba rozběhu polohovadla	[s]
t_{RP}	doba rozběhu posuvu polohovacího systému	[s]
t_Z	doba zastavení polohovadla	[s]
v'	obvodová rychlost aktuálně používaného polohovadla	[m·s ⁻¹]
v_P	rychlost posuvu polohovacího systému	[m·s ⁻¹]
x_1	1. interval pro výpočet průhybu	[mm]
x_2	2. interval pro výpočet průhybu	[mm]
x_T	x-souřadnice těžiště nosného ramene	[mm]
y	průhyb nosníku	[mm]
y_D	průhyb nosníku v místě D	[mm]
y_T	y-souřadnice těžiště nosného ramene	[mm]
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci	[-]
D_2	vnitřní průměr výsuvné trubky	[mm]
D_3	střední hodnota vnějšího průměru výsuvné trubky a vnitřního průměru trubky stojanu	[mm]
D_4	vnější průměr trubky stojanu	[mm]
D_{LD}	průměr lící desky polohovadla	[mm]
D_{SS}	průměr svařované součásti	[mm]
D_T	vnější průměr trubky obruče	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F_{ay}	síla potřebná pro zrychlení posuvu ve směru y	[N]
F_{az}	síla potřebná pro zrychlení posuvu ve směru z	[N]
F_{gy}	síla potřebná pro překonání tíhy posuvných částí ve směru y	[N]
F_o	Osová síla ve šroubu	[kN]
F_R	radiální síla	[N]

F_U	utahovací síla	[N]
F_{vy}	valivý odpor posuvu ve směru y	[N]
F_{vz}	valivý odpor posuvu ve směru z	[N]
F_x	síly hlavního nosníku ramene ve směru x	[N]
F_{xB}	síly v místě B ve směru x	[N]
F_y	síly hlavního nosníku ramene ve směru y	[N]
F_{yc}	celková síla potřebná pro posuv ve směru y	[N]
F_{zc}	celková síla potřebná pro posuv ve směru z	[N]
G_H	tíhová síla navařovacího hořáku	[N]
G_{LJz}	tíhová síla horizontálních lineárních jednotek	[N]
$G_{př}$	tíhová síla výsuvné části se třemi předehřívacími hořáky	[N]
G_R	tíhová síla nosného ramene navařovacího hořáku	[N]
I	kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
J_C	celkový moment setrvačnosti rotujících částí polohovadla	[kg·m ²]
J_{LD}	moment setrvačnosti lící desky polohovadla	[kg·m ²]
J_{SS}	moment setrvačnosti svařované součásti	[kg·m ²]
L_C	moment hybnosti rotujících částí polohovadla	[kg·m ² ·s ⁻¹]
$M(x_1)$	moment na intervalu x1	[Nm]
$M(x_2)$	moment na intervalu x2	[Nm]
$M(x_i)$	obecný moment	[Nm]
M_A	moment vůči místu A	[Nm]
MAG	Metal Active Gas	[-]
MIG	Metal Inert Gas	[-]
M_o	ohybový moment	[Nm]
$M_{PH,max}$	maximální moment od předehřívacích hořáků	[Nm]
M_{Py}	moment posuvu ve směru y	[Nm]
M_{Pz}	moment posuvu ve směru z	[Nm]
M_R	moment při rozběhu polohovadla	[Nm]
M_{TMT}	třecí moment mezi maticí a trubkou obruče	[Nm]
$M_{TTČ}$	třecí moment mezi trubkou a čelní plochou čepu	[Nm]
M_{TZ}	třecí moment v závitech	[Nm]
M_U	utahovací moment	[Nm]
M_Z	moment při zastavení polohovadla	[Nm]
PAW	Plasma Arc Welding	[-]

P_{Py}	výkon pohonu posuvu ve směru y	[W]
P_{Pz}	výkon pohonu posuvu ve směru z	[W]
R	poloměr pojezdového kola vozíku lineární jednotky	[mm]
R_{Ax}	reakce v místě A ve směru x	[N]
R_{Ay}	reakce v místě A ve směru y	[N]
R_{Bx}	reakce v místě B ve směru x	[N]
R_v	reakce vzpěry	[N]
S	plocha průřezu zajišťovacího čepu	[mm ²]
SAW	Submerged Arc Welding	[-]
TIG	Tungsten Inert Gas	[-]
WIG	Wolfram Inert Gas	[-]
W_o	průřezový modul v ohybu	[mm ³]
α	návrhový úhel	[°]
α_M	úhel profilu metrického závitu	[°]
η	účinnost kuličkového šroubu	[-]
σ_{Do}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
τ_D	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
τ_s	napětí ve smyku	[MPa]
φ'	redukovaný třecí úhel	[°]
ψ	úhel stoupání závitu	[°]
ω	úhlová rychlost	[rad · s ⁻¹]
ω_p	úhlová rychlost kuličkového šroubu	[rad · s ⁻¹]

Úvod

Technologie navařování byla původně využívána při opravných procesech poškozených součástí. Díky svým výhodám později našla uplatnění také ve výrobě nových výrobků. Při výrobě nových součástí se realizuje za účelem dosažení lepších vlastností povrchových vrstev a částí ploch, které jsou vystaveny různým zatížením a vlivům. Využitím navařování lze dosáhnout značné ekonomické úspory, neboť vyráběná součást může být z velké části vyrobena z materiálu o nižší jakosti, a pouze kritická místa se opatří tvrdokovovým návarem.

Ve firmě ARMATURY Group a.s., pro kterou je tato diplomová práce zpracována, se tato technologie využívá při navařování tvrdokovových vrstev na těsnící prvky armatur, jako jsou sedla, klíny šoupátek, disky ventilů apod. V současné době se provádí ruční navařování za spolupráce svářeče a polohovadla, a mechanizované a automatizované navařování na prvky menších až středních průměrů.

Cílem této práce je tedy navrhnout svařovací stroj, pro mechanizované navařování tvrdokovu na prvky velkých průměrů (do 2250 mm). Stroj musí splňovat firmou stanovené požadavky: průměr upnutí 2250 mm, nosnost polohovadla 2200 kg, naklopení lící desky polohovadla v rozsahu 0-120°, integrace 3 přehřívacích hořáků, schody s plošinou pro práci při maximální výšce obrobku a ochranu okolí proti záření pomocí štítů nebo závěsů. Stroj bude využíván pro navařování práškové směsi nebo svařovacího drátu. Konkrétní prostorové nároky nebyly firmou přesně stanoveny.

Práce je členěna do kapitol. V jednotlivých kapitolách bude probrána jak teoretická stránka řešené problematiky, tak vlastní návrh řešení a výpočty svařovacího stroje. V závěru práce bude zhodnocení dosažených výsledků. Další součástí práce je vypracování sestavného výkresu navrženého stroje, a vybrané výrobní výkresy, případně sestavné výkresy podskupin.

1 Navařování

Navařování využívá obdobných principů jako svařování s tím rozdílem, že neslouží přímo ke spojování součástí. Podstatou navařování je nanášení vrstvy přídavného materiálu, tzv. návaru na základní materiál, za účelem dosažení požadovaných vlastností povrchu, případně doplnění základního materiálu součásti tak, aby bylo dosaženo požadovaného tvaru. Původní využití navařování bylo zejména při opravách poškozených součástí, např. vyplňování trhlin, dutin, odlomených zubů a podobně. Díky řadě výhod se však později uplatnilo již ve výrobním procesu nových součástí. V případě nově vyráběných strojních dílů se návar nanáší na pracovní povrchy nebo hrany, za účelem snížení jejich opotřebení při používání, a tím přispívá ke zvýšení životnosti součástí. Navařovanými materiály jsou zpravidla tvrdé kovy a slitiny. Tvrdokovový návar může vykazovat lepší odolnost vůči opotřebením jako jsou adheze, abraze, kavitace, opotřebení vlivem vysokých teplot, oxidace, koroze. [1]

Velkou výhodou navařování je možnost vyrobit dílec z levnějšího, běžně používaného materiálu a pouze nejvíce namáhané oblasti opatřit návarem, který zajistí dostatečnou odolnost proti možnému opotřebení. To umožňuje značné snížení výrobních nákladů, ve srovnání se situací, kdy by měl být celý výrobek zhotoven z dražšího materiálu o vyšší jakosti. Hlavními přednostmi navařování jsou [2]:

- rychlé vytvoření návaru nebo rychlá oprava
- technologická jednoduchost
- možnost renovace součástí z různých kovů
- možnost navařování tvrdých kovů
- vysoká pevnost a spolehlivost návarů

Nedostatky navařování jsou [2]:

- vznik značných vnitřních napětí
- vysoká teplota a působení teplotně-deformačního cyklu
- zředění svarového kovu základním materiálem
- vznik tepelně ovlivněné oblasti

Za nevýhodu lze také považovat potřebu následného obrobení návaru, která je nutná ve většině případů. Pro opracování se zpravidla používá broušení, nebo v případě vyšších požadavků na jakost povrchu (např. těsnící prvky armatur) lapování. Ve srovnání s chemicko-tepeelnými zpracováními je výhodou této technologie větší tloušťka vrstvy (až 10 mm), což může být zároveň i její nevýhodou. V případě požadavku tenké vrstvy, která se některými metodami navařování obtížně realizuje, je potřeba návar opracovat na požadovaný rozměr broušením. [3]

1.1 Opravy a renovace navařováním

Opravy a renovace se provádí za účelem obnovení provozuschopného stavu poškozené součásti, a tím prodloužení jejího technického života. Může se jednat o obnovy tvarového, funkčního a bezpečnostního charakteru. Příkladem tvarového obnovení může být například navaření odlomené části nebo opotřebeného povrchu komponenty. Snížením funkčnosti může být kupříkladu ztráta těsnosti, ztráta požadovaných třecích vlastností a jiné. Z hlediska bezpečnosti může jít o ztrátu spolehlivosti součásti při dlouhodobém zatížení. Prvním krokem renovačního procesu je posouzení charakteru a rozsahu vady a zjištění její příčiny. Poté je vybrán vhodný přídavný materiál návaru tak, aby vyhovoval provozním podmínkám renovované součásti a vyhovoval jiným specifickým požadavkům, například z hlediska obrobitelnosti. V další fázi je vhodně zvolena metoda návaru a vypracován technologický postup, který zahrnuje stanovení parametrů navařování, ochranný plyn, tavidlo, přehřevy, dohřevy a další. Následně je upravena návarová plocha, defekt je vybroušen do oblých tvarů, povrch návarové plochy musí být hladký, očištěný, odmaštěný. Jakmile je připravena návarová plocha, provádí se samotné navařování dle stanoveného postupu. Konečnou etapou je opracování návaru k dosažení požadované jakosti povrchu návaru (např. broušením nebo lapováním). [4]

1.2 Navařování ve výrobě nových součástí

Řada výhod zajistila technologii navařování uplatnění ve výrobě nových komponent z různých odvětví průmyslu. Aplikuje se za účelem dosažení specifických vlastností povrchu a plní funkci prevence před poškozením. V energeticko-chemickém průmyslu se využívá pro lepší odolnost zařízení vystavených chemickým vlivům, vysokým teplotám apod. Má zastoupení ve výrobních procesech turbín a průmyslových armatur, zejména při navařování těsnících ploch sedel, klínů šoupátek, koulí kulových kohoutů, disků ventilů, kuželek. Tyto těsnící plochy musí být rezistentní vůči korozi, opotřebením otěrem, chemickým

vlivům přenášených médií a prostředí, případně vysokým teplotám a jiným nežádoucím účinkům při jejich provozování. Nedostatečná odolnost důležitých oblastí na komponentech armatur může vést ke ztrátě těsnosti. Návar těsnící plochy sedla zachycuje obr. 1. Mezi další oblasti častého použití patří návary na celou řadu součástí zemědělských, těžebních a stavebních strojů, které jsou náchylné zejména k opotřebení abrazí, jako jsou například hrany lopat nakládačů, korečky rýpadel, drtící kladiva, řetězová kola, ozubení, šneky a další. V případě dopravního průmyslu nalezlo navařování své místo např. při opravách železničních kolejnic. Další aplikací technologie navařování je ve výrobě obráběcích a tvářecích nástrojů, jejichž plochy a hrany jsou vystaveny opotřebení (břity, nože, aj.). [1] Komponenty se mohou vyrábět s předpřipravenými plochami pro návar. Materiál návaru se volí na základě znalosti provozních podmínek součástí. Dále se postupuje obdobně jako u renovačních návarů.

Při navařování těsnících ploch armatur (obecně u návarů kruhových tvarů) lze s výhodou využít automatizace a mechanizace procesu s pomocí strojů, zařízení a automatů.



Obrázek 1 - Návar sedla [5]

1.3 Metody svařování

Technologie navařování využívá shodných principů a metod jako u svařování kovů. V následujícím textu jsou proto uvedeny principy základních metod svařování. Nejčastěji se provádí navařování plamenem, elektrickým obloukem, laserem, plazmou, případně kombinací některých způsobů. [3]

1.3.1 Svařování plamenem

Svařování plamenem se řadí mezi tavné metody svařování. Zdrojem tepla pro natavení svarových ploch a roztavení přídavného materiálu je chemická energie plamene, který vzniká zapálením směsi oxidujícího a hořlavého plynu. Oxidujícím plynem bývá kyslík nebo vzduch. Hořlavých plynů je celá řada, nejpoužívanějším z nich je acetylen, dále např. vodík, propan, etylen, propylen, zemní plyn. Přídavný materiál u svařování plamenem je nejčastěji ve formě drátu. Tato metoda se hojně využívá pro navařování. [2]

1.3.2 Svařování elektrickým obloukem

Zdrojem tepla je elektrický oblouk hořící mezi základním materiálem a elektrodou. „Elektrický oblouk využitelný ve svařování je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma oblouku v ionizovaném stavu.“ [2] Obloukové svařování se dělí do následujících skupin:

- **Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou**

Přídavným materiálem je obalená elektroda. Elektrody se skládají z jádra a obalu. Jádro tvoří drát o standardním průměru z řady 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; a 6,3 mm. Obal elektrody je tvořen tavidlem a plní 3 základní funkce. Plynotvorná funkce zajišťuje ochrannou atmosféru tak, že při hoření vzniká kouř a plyny, které zamezují přístupu vzduchu do místa svaru. Ionizační funkce podporuje zapalování a hoření elektrického oblouku. Metalurgická funkce přispívá k dezoxidaci (snížení účinku kyslíku), rafinaci (snížení obsahu síry a fosforu) a legování svaru. [6, 7] Elektrody lze rozdělit podle obalu na rutilové, bazické a kyselé, případně jejich kombinace. Ruční svařování klade vysoké nároky na zručnost svářeče.

- **Obloukové svařování v ochranných atmosférách (MIG, MAG, WIG)**

Elektrický oblouk je obklopen ochranným plynem, který chrání oblast svaru před účinky okolní atmosféry. U metod MIG/MAG hoří oblouk mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře, tvořené inertním (MIG) nebo aktivním (MAG) plynem. U metody WIG (někdy také označované jako TIG) oblouk hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a svařovaným materiálem, přičemž ochrannou atmosféru tvoří inertní plyn, nejčastěji argon a helium. [2] Tyto metody jsou hojně využívány při mechanizovaném a automatizovaném svařování.

- **Obloukové svařování pod tavidlem (SAW)**

Elektrický oblouk hoří mezi elektrodou (drátem) a základním materiálem, přičemž je obklopen vrstvou tavidla. To spolehlivě slouží jako ochrana svarové lázně před vlivem okolního vzduchu. Po vychladnutí se vyvábí na povrchu křehká sklovitá vrstva, která se následně musí mechanicky odstranit. Tavidla lze rozdělit na neutrální, aktivní a legující, která se často používají pro navařování. [8] Dále lze rozdělit z hlediska technologie výroby na tavená, keramická, sintrovaná a aglomerovaná. [9] Svařování pod tavidlem je typicky realizováno mechanizovaně.

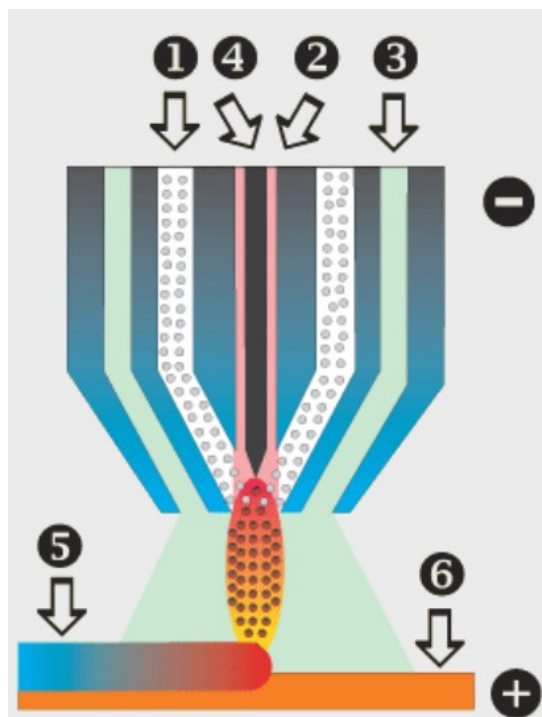


Obrázek 2 - Navařování pod tavidlem [9]

1.3.3 Svařování plazmatem (PAW)

„Ke vzniku plazmy je nutná ionizace plynu, při které dochází k vyražení nebo uvolnění elektronů z vnějších valenčních orbitů atomů. Princip svařování plazmou je založen na ionizaci plynu při průchodu elektrickým obloukem.“ [2] Oblouk, podobně jako u metody WIG, hoří mezi netavící se elektrodou a základním materiálem v ochranném inertním plynu (argon, helium), ale trubice hořáku u PAW metody má menší průměr. To má za následek zúžení elektrického oblouku, a tedy vyšší koncentraci tepla, potřebného k ionizaci plazmového plynu, který proudí kolem elektrody. Vysoké teploty způsobují rozpínání plazmového plynu, což přispívá k vysoké rychlosti plazmy na výstupu z hořáku (200 až 500 m·s⁻¹). Zúžení plazmového paprsku také podporuje tzv. fokusační plyn (směs

argonu a vodíku nebo dusíku). Kombinace vysoké koncentrace tepla a dynamických účinků plazmy zaručuje hluboké natavení základního materiálu. [2] Zúžení paprsku přináší výhodu v podobě menší tepelně ovlivněné oblasti. Oproti laserovému paprsku má plazma menší koncentraci energie, avšak markantně vyšší energetickou účinnost a značně nižší náklady na provedení. PAW metoda je často využívána při navařování těsnících ploch armatur, ale také pro opravy a renovace. Jednou z výhod je rovnoměrnost vrstvy návaru, při použití vhodného polohovadla (s tolerancí ± 1 mm), a tím snížení potřeby následného opracování svaru. [10] Schéma plazmového svařování je zobrazeno na obr. 3



Obrázek 3 - Schéma plazmového svařování [10]

- 1 – Přídavný materiál (prášek);
- 2 – Plazmový plyn (argon);
- 3 – Ochranný plyn (dusík);
- 4 – Wolframová elektroda;
- 5 – Návar; 6 - Podklad

1.3.4 Svařování laserem

Metoda svařování laserem využívá tenkého paprsku, který je pomocí optického zařízení zaostřen do velmi malého ohniska. Pro laserový paprsek je charakteristická vysoká koncentrace výkonu (až $10^{12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$). Při svařování je paprsek vyslán na povrch materiálu, přičemž část je pohlcena materiálem, část odražena a velmi malá část projde materiálem. Pro svařování je podstatná pohlcená část paprsku, neboť právě tato část způsobuje ohřev. Ten nenastává v důsledku přeměny vysoké kinetické energie fotonu, nýbrž zvýšením frekvence mřížky materiálu. Rychlost ohřevu je mnohonásobně vyšší, než rychlost jeho odvodu, a proto dochází k natavení materiálu. Ochrannou atmosféru tvoří přiváděný plyn (argon, helium). Laserové svařování se používá především u nestandardních materiálů, u obtížně tavně svařitelných materiálů, u kombinací různorodých materiálů či detailů s mimořádně vysokými nároky na přesnost. [11] Laserová technologie je rovněž často využívána při navařování, a to zejména v případech, kdy je potřeba zachovat vlastnosti základního materiálu. Přídavný materiál je nejčastěji zastoupen ve formě drátu nebo prášku. Dráty o průměru 0,15 - 1,0 mm jsou vhodné pro navařování precizních tvarů a lze jimi získat

návary o šířce několika desetin milimetru. Využití prášku má uplatnění v automatizovaném procesu, kdy je dodáván tryskami. [12] Využití laserové technologie může výrazně snížit výrobní náklady, avšak pořizovací cena zařízení je poměrně vysoká.

1.4 Navařovací materiály

Navařovací materiál se volí v závislosti na provozních podmínkách a podle toho, jakému opotřebení bude daná součást vystavena při vykonávání své funkce. Klasifikaci svařovacích materiálů pro tvrdé návary stanovuje norma EN 14700:2005 (ČSN EN 14700 – 05 5020). Označení dle této normy se skládá z počátečního písmene, které značí tvar (formu) svařovacího materiálu, a značky odpovídající jeho chemickému složení. Svařovací materiál se dle EN14700:2005 vyrábí v následujících tvarech [13]:

- obalená elektroda
- svařovací drát (tyč)
- plněná elektroda (tyč)
- litá tyč
- pásková elektroda
- spékaná pásková (tyč) nebo plněná pásková elektroda
- kovový prášek

Navařovací materiály mívají podobu slitin tvrdých kovů, které disponují vynikajícími vlastnostmi. Tyto slitiny (mnohdy označovány jako superslitiny) mohou být na bázi kobaltu, chromu, niklu, a dalších kovů [14]. Přehled základních slitin a jejich vhodné aplikace jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1 - Slitiny a jejich aplikace [14]

Základ slitiny	Aplikace
Kobalt	Opotřebení a koroze
Měď	Opravy poškozených součástí strojů
Železo + chrom	Opotřebení abrazí
Manganová ocel	Obecné opotřebení
Nikl	Opotřebení typu kov-kov
Nástrojová ocel	Obecné opotřebení
Karbid wolframu	Opotřebení abrazí

Nejčastěji používanými materiály pro navařování těsnících ploch jsou slitiny na bázi kobaltu, tzv. Stelly, zejména s přídavkem chromu, uhlíku, wolframu, případně molybdenu. Tyto slitiny charakterizuje kombinace výborné odolnosti proti mechanickým opotřebením, vysokým teplotám a korozi. Běžně odolávají teplotám do 600 °C. Dosahují tvrdosti do 62 HRC. Stelly se vyrábějí v několika variantách, jejichž nejznámějším zástupcem je Stellite 6. Alternativou ke Stellite 6 mohou být slitiny na bázi niklu, s označením Deloro, které rovněž disponují vynikajícími vlastnostmi (tvrdost až 62 HRC). Obsahují aditivní prvky: chrom, uhlík, bor, železo a křemík. Pro návary vystavené extrémním opotřebením lze použít tzv. Tribaloy slitiny na bázi kobaltu nebo niklu. Ty značí vysoká odolnost proti opotřebení kov-kov, korozi a vysokým teplotám (až 1000 °C). Tvrdost návaru je závislá nejen na chemickém složení slitin, ale také na použité metodě navařování. [15] Na těsnící prvky armatur se běžně používají stellite slitiny, především Stellite 6, a to v podobě prášku nebo drátu.

Na návary těsnících ploch armatur se také často používá přídavný materiál na bázi chromu s označením 13Cr (dle ČSN EN 14700: E Fe 8), který je odolný proti opotřebení typu kov-kov a korozi. Běžně dosahují tvrdosti do 56 HRC. [1]

2 Mechanizace procesu navařování

Technický vývoj má za následek snižování potřeby lidské síly ve výrobních procesech. Takového snížení lze dosáhnout mechanizací a automatizací procesů. Mechanizace nahrazuje lidskou sílu různými mechanizmy a strojními zařízeními. Ve svařovacím (navarovacím) procesu se v první řadě jedná o strojní podávání přídavného materiálu (drátu, prášku). Dalším stupněm mechanizace je využití polohovacích zařízení pro manipulaci se svařencem a posuv svařovacího hořáku. Další etapou ve vývoji je automatizace a robotizace, která využívá řídicích systémů. Proces je vykonáván automaticky v souladu s předem vytvořeným programem, a snižuje tak potřebu přítomnosti člověka na minimum. [16]

2.1 Svařovací polohovadla

Svařovací polohovací zařízení slouží k ustavení svařovaného předmětu do správné polohy. Jejich využití má za následek zlepšení mechanizace a automatizace výroby, snížení času samotného svařování i času potřebného na vedlejší operace. Výrazně zvyšuje přesnost a kvalitu svaru. Obecně lze polohovadla rozdělit na [17]:

- kladková polohovadla
- stolová polohovadla
- speciální polohovadla
- univerzální manipulátory

2.1.1 Kladková polohovadla

Kladková polohovadla se používají pro svařování rotačních součástí velkých průměrů, např. při svařování potrubí nebo nádrží. Skládají se ze soustavy kladek, po kterých se svařenec odvaluje. Kladky jsou od sebe vzdálené dle průměru svařence. Kladková polohovadla se vyrábí v různých variantách s nastavitelnou výškou a s pohonem jedné nebo více kladek. Jeden z výrobců svařovací techniky, firma ESAB, nabízí kladková polohovadla až do nosnosti 1200 tun. [18]



Obrázek 4 - Kladkové polohovadlo ESAB [18]

2.1.2 Stolová polohovadla

Stolová polohovadla se používají pro svařování nejen rotačních součástí. Lze je využít pro ustavení svařence do správné polohy, i pro automatizované obvodové svařování nebo obvodové návary. Stolová polohovadla jsou vybavena upínací deskou s T-drážkami pro upevnění upínacích kostek, pomocí kterých se upíná svařovaná součást. Základními parametry stolových polohovadel jsou nosnost, rychlost otáčení, průměr stolu, zdvih stolu, sklopení stolu, maximální moment k rovině stolu, maximální moment k ose stolu. [17] Stolová polohovadla lze rozdělit dle počtu realizovaných pohybů na jednoosá, dvouosá a tříosá. Pohon může být zajištěn elektricky, hydraulicky nebo ručně.



Obrázek 5 - Dvouosé polohovadlo KSK [19]

Jednoosá polohovadla umožňují pouze jeden pohyb, a to naklápění stolu kolem vodorovné osy, nebo rotaci stolu okolo vertikální osy. Používá se v jednodušších aplikacích, pro manipulaci s menšími svařenci.

Dvouosá polohovadla vykonávají dva pohyby, a to naklápění stolu okolo horizontální osy a vlastní rotaci stolu. Naklápění je nejčastěji realizováno pomocí ozubeného převodu nebo zdvihem pístu hydromotoru. Velikost rozměrů svařence je omezená kvůli absenci výškové nastavitelnosti stolu – při naklápění by mohla příliš velká součást kolidovat s rámem polohovadla nebo s podlahou.

Tříosá polohovadla umožňují i zdvih stolu, jsou vhodná pro svařování rozměrných součástí. Vyrábí se v několika variantách podle konstrukce. V jedné z variant je zdvihání zajištěno naklápěním rámu stolu uloženého na čepu vůči podlaze, pomocí hydraulického válce nebo elektromotoru (obr. 6 vlevo). Nevýhodou této varianty může být nutnost

úhlového vyrovnávání stolu po zdvižení, aby se docílilo přesné požadované polohy svařence. Dalším způsobem je polohovadlo typu „L“, které umožňuje přímý vertikální zdvih, pomocí hydraulického válce, pohybového šroubu nebo ozubeného hřebenu (obr. 6 vpravo). Konstrukce se skládá ze sloupu, na kterém je vertikálně vedeno otočné rameno se stolem s vlastní rotací. Vyrábí se i varianta se dvěma sloupy, pro manipulaci s těžkými součástmi.



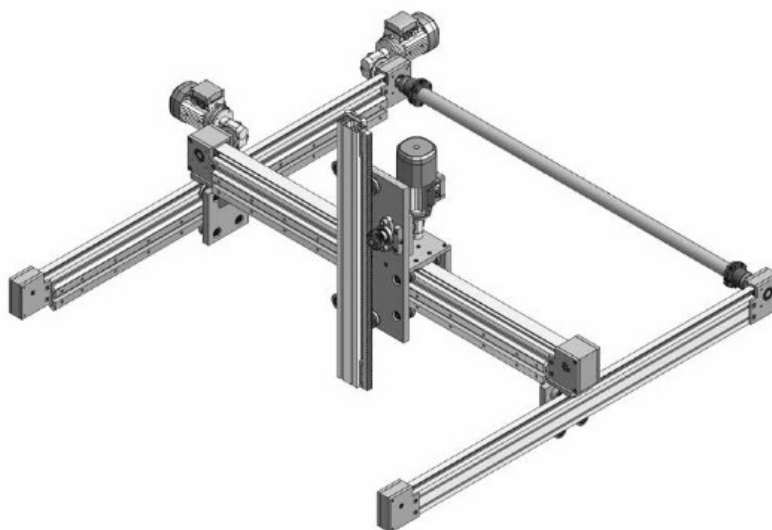
Obrázek 6 - Tříosá polohovadla KOVACO [20]

2.1.3 Speciální polohovadla, univerzální manipulátory

Speciální polohovadla se uplatňují tam, kde klasická polohovadla z jakýchkoliv důvodů nevyhovují. Univerzální manipulátory jsou výhodné v případě potřeby svařování tvarově a rozměrově různorodých součástí.

2.2 Polohování hořáku

Pro nastavení svařovacího hořáku do požadované pozice lze využít lineární techniky nebo kloubových mechanismů, případně rotačních ramen. Nejčastěji je hořák uložen na soustavě posuvných vedení (jednoosé, dvouosé, tříosé). Posuvný pohyb hořáku může být realizován pomocí lineárního motoru, kuličkového šroubu, ozubeného hřebene, řetězu nebo ozubeného řemenu. Nejběžněji dostupná jsou vedení s kuličkovým šroubem a ozubeným řemenem. Při volbě vhodného typu posuvného vedení je třeba zvážit několik faktorů: délka zdvihu, rychlost posuvu, požadovaná přesnost, montážní poloha a údržba. [21]



Obrázek 7 - Víceosé lineární vedení [22]

2.2.1 Lineární motor

Systém polohování s lineárním motorem využívá indukčního principu. Je to v podstatě klasický synchronní motor rozvinutý do roviny, který zajišťuje přímočarý pohyb. Vozík je uložen na vodící liště na valivých elementech (kuličky, rolničky). Tento posuv je charakterizován výbornými dynamickými vlastnostmi a přesným vedením. Posuv dosahuje rychlostí až $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a opakovatelnost 0,05 mm. Standardní provedení mají zdvihy do 6 m. [23] Vedení s lineárním motorem jsou schopny pracovat pod velkou zátěží a velmi dobře odolávají klopným momentům.

2.2.2 Kuličkový šroub

Kuličkový šroub pracuje na principu transformace rotačního pohybu na posuvný. Na rozdíl od klasického šroubu je prostor mezi závitem matice a šroubu vyplněn valivými elementy (kuličkami), které podstatně snižují ztráty třením. Šroubové mechanismy lze rozdělit podle základního vykonávaného pohybu šroubu a matice na 4 typy [24]:

- šroub koná otáčivý pohyb a matice posuvný
- šroub koná posuvný pohyb a matice se otáčí na místě
- šroub koná otáčivý a posuvný pohyb a matice je uložena pevně (bez pohybu)
- šroub uložen pevně (bez pohybu) a matice koná otáčivý a posuvný pohyb

Ve většině případů lineární techniky se využívají dvě varianty: s poháněným šroubem a posuvnou maticí, s pevným šroubem a poháněnou maticí. Kuličkové šrouby lze rozdělit podle technologie výroby na válcované, okružované a broušené. Válcované šrouby jsou

vhodné pro aplikace s nižšími nároky na přesnost. Větších přesností dosahují šrouby okružované, a nejvyšší přesnosti disponují šrouby broušené. Přesnost soustavy ovlivňuje také předepjatost matice, která je realizovaná u jednoduchých matic pomocí kuliček o větším průměru, než je prostor v závitové drážce. U dvojitých matic je správné předepnutí nastaveno pomocí rozepínacího kroužku mezi maticemi. Valivá tělíska jsou udržována v oběhu pomocí vratných systémů matice. Ty lze rozdělit na tři základní druhy: interní s cirkulací kuliček v jednotlivých pracovních závitech, a zpětný převod kuliček pomocí interního/externího kanálku. [25] Při provozu je třeba dbát na správné mazání kuličkové matice a valivých ploch. S výhodou se využívá mechanického převodu kuličkovým šroubem v případech s vysokou axiální silou. To naznačuje vhodnost použití u posuvů ve vertikálním směru. Lineární jednotky s kuličkovým šroubem mohou dosahovat velmi přesné opakovatelné přesnosti polohování, a to až 0,05 mm. Na druhou stranu, jejich provozní rychlosti jsou poměrně omezené přibližně do $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Dále jsou také omezené délkou zdvihu, běžně dostupné jsou pro zdvihy do 3 m. [26] Nevýhodou je vysoká citlivost na provozní teploty, zejména u aplikací s důrazem na přesnost polohování, kde kolísání provozní teploty nesmí přesahovat $\pm 2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [24].

2.2.3 Ozubený hřeben

Posuvy, založené na ozubeném převodu pastorek-hřeben, patří mezi robustnější řešení. Ozubený hřeben v záběru pastorkem rovněž využívá transformace točivého pohybu na posuvný. Hřebenová tyč s ozubením je obvykle připevněna k rámu a pastorek je umístěn na pojezdovém vozíku s vlastním pohonem. Ozubený převod může být realizován přímým nebo šikmým ozubením. Rozsah využití tohoto typu pohonu je široký, přičemž s ohledem na aplikaci je požadována potřebná přesnost ozubení. Výrobci běžně nabízejí hřebeny a pastorky v několika třídách přesnosti, od nejpřesnějších ozubení aplikovaných v měřicí a kalibrační technice, až po méně přesné např. hřebeny pro venkovní použití. Přesnost polohovacího systému je závislá na technologii výroby. Tento typ vedení snáší vysoké zátěže zejména v axiálním směru. S výhodou jej lze využít také u dlouhých zdvihů (až 6 m). Rychlost posuvu je v běžně dostupných variantách omezena do $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.2.4 Řetěz

Lineární jednotky s řetězovým pohonem patří také mezi robustnější provedení posuvného vedení za pomoci přenosu sil tvarovými elementy. Řetěz je napojen na jezdec a opásán kolem řetězových kol na konci profilu, přičemž jedno z nich je poháněno motorem. Posuvy

poháněné řetězem prokazují dobrou odolnost v provozu zatíženém nečistotami. Jsou schopny přenášet vysoké zátěže, a to zejména ve vertikální poloze. Jejich největším nedostatkem je menší přesnost polohování. Vyžadují také pečlivou údržbu. Kromě správného mazání je třeba dbát také na správné napnutí řetězu, který je náchylný k „vytahání“. Posuvy běžně dosahují rychlostí do $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a zdvihů téměř 6 metrů. [26]

2.2.5 Ozubený řemen

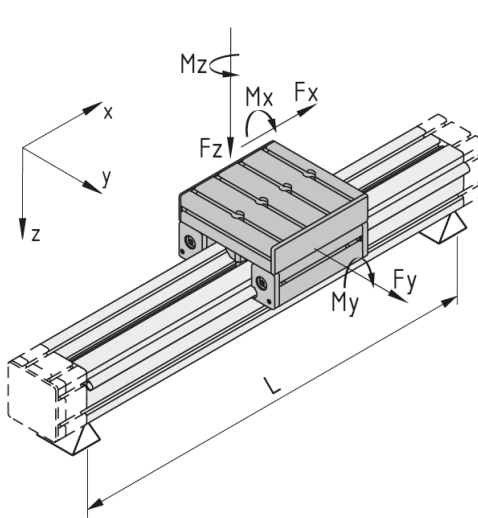
Mezi nejčastěji používané systémy patří vedení s pohonem ozubeným řemenem. Oproti předchozím typům jsou charakteristické nižší tuhostí, zapříčiněné pružností řemene. Na rozdíl od klasických řemenů, u kterých je přenos výkonu založen na principu tření, ozubené řemeny využívají přenos pomocí tvarového styku – zuby řemene zapadají do drážek v řemenici. Lineární jednotky s ozubeným řemenem mohou být provedeny ve dvou variantách, a to se statickým řemenem a poháněnou řemenicí na pojízdném vozíku, a s poháněným řemenem pevně uchyceným k jezdcí. První varianta je méně častá, její nevýhodou je nutnost umístění pohonu na vozíku, což způsobuje přesouvání větší hmotnosti a také větší prostorové nároky na dráze posuvu. Druhá varianta je konstrukčně podobná vedení s řetězovým pohonem – řemen je opásán okolo řemenic na obou koncích vodící lišty a je pevně uchycen k pojezdovému vozíku pomocí přílozek. Řemen je složen z ocelových vláken a polyuretanového pláště. Jeho nízká hmotnost přispívá ke snížení energie potřebné k provozu. Jednotky s ozubeným řemenem mohou dosahovat rychlostí blížících se až k $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Lze jimi realizovat velmi dlouhé zdvihy. I přes jejich menší tuhost disponují uspokojivých hodnot opakovatelných přesností (až 0,1 mm). [26] Jejich nevýhodou může být jistá komplikace při instalování vedení do vertikální polohy. V takovém případě je vhodné zvážit bezpečnostní opatření, které by zabránilo havárii (volnému pádu vozíku) v případě poruchy brzdy. Zatímco u vertikálních posuvů s pohybovým šroubem do jisté míry brání volnému pádu tření v systému, u jednotek s ozubeným řemenem je vhodné zvážit použití externí brzdy nebo protizávaží. [21] Za nevýhodné lze považovat omezení zrychlení posouvaných hmot, protože při přílišném zrychlení může dojít vlivem pružnosti řemene k nežádoucímu rozkmitání systému. Nízkou tuhost řemene lze do jisté míry kompenzovat vyšším předpětím řemene, čímž lze dosahovat i vyšších přesností polohování. [27]

Lineární jednotky jsou běžně dostupné v kompletním stavu i s pohonným ústrojím a řídicím příslušenstvím. Hlavní komponenty lineárních jednotek jsou: zástavbový rám, brzdy, omezovací dorazy, snímače koncových a referenčních poloh, energetický řetěz, kryty,

vodící člen. [27] Mezi významné výrobce a dodavatele takových systémů patří ITEM, HIWIN, T.E.A. TECHNIK, SCHEEBERGER, THK, RAVEO aj. Výrobce ITEM, jehož distributorem pro Českou republiku je společnost HABERKORN sídlící v Mokřích Lazcích, nabízí kompletní konstrukční řešení nejen v oblasti automatizace. Jejich stavebnicové systémy naleznou uplatnění v konstrukci rámců strojů, pracovních stolů, montážních linek a v množství dalších aplikací. Stavebnicové prvky využívají jednotných principů, proto je jejich použití velmi univerzální, jednoduché a cenově výhodné. Tyto komponenty je možné využít i pro nosnou konstrukci a polohovací systém hořáku navrhovaného navařovacího stroje. ITEM také nabízí na svých webových stránkách několik konfigurátorů a návrhových programů pro usnadnění procesu konstrukčních řešení polohovacích systémů. [28]

Přehled základních typů lineárních jednotek a jejich parametrů (resp. jejich maximálních hodnot) v rámci sortimentu firmy ITEM je uveden v tab. 2.

Tabulka 2 - Přehled typu lineárních jednotek a jejich maximální parametry z katalogu ITEM [26]

									
Typ lineární jednotky	Maximální zatížení						Max. rychlost posuvu	Opakovatelná přesnost	Max. zdvih
	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	M_x [Nm]	M_y [Nm]	M_z [Nm]	[m · s ⁻¹]	[mm]	[mm]
Ozubený hřeben	1000	2400	1600	40	64	96	3	0,1	5678
Ozubený řemen	2100	7600	5200	301	520	760	10	0,1	5820
Řetěz	620	2400	1600	40	64	94	2	0,5	5760
Kuličkový šroub	2000	2400	1600	76	64	96	0,25	0,05	2687

2.3 Svařovací a navařovací automaty

V České republice je jednou z mála společností, která se zabývá komplexním konstrukčním řešením svařovacích a navařovacích automatů, společnost KSK, sídlící v České Třebové. Ve svém sortimentu nabízí řadu základních, nejčastěji používaných provedení svařovacích a navařovacích automatů, které lze využít pro metody MIG/MAG, TIG, pod tavidlem, plazmou a další. Ty jsou použitelné převážně na navařování menších součástí. Kromě základního sortimentu nabízí také individuální modifikaci svých strojů dle specifických požadavků zákazníka. Jedním z jejich základních produktů, plazmový navařovací automat PPC 250 PTM, je využíván v Armatury Group k navařování tvrdokovů na těsnicí prvky armatur menších a středních světlostí. Stroj se tvoří polohovadlem, polohovacím systémem hořáku, zásobníky pro přídavný materiál a řídicím centrem. Polohovadlo je řízeno ve dvou osách – úhlové naklápění a vlastní rotace stolu. Nosnost polohovadla je 1000 kg, a průměr lící desky je 800 mm. Navařovací hořák je uchycen k polohovacímu systému. Ten je tvořen lineárními vedeními a je řízen ve 3 na sebe kolmých osách. Na nosné konstrukci polohovacího systému jsou uchyceny zásobníky až na 10 kg přídavného materiálu ve formě prášku (u varianty pro práškové navařování nebo pod tavidlem). Stroj může být rovněž vybaven jedním ze 7 typů hořáků vyráběných přímo firmou KSK. Řídicí centrum je vybaveno dotykovou obrazovkou a řídicím panelem umístěným na polohovadle. Programování je prováděno metodou „předved’ a proved’“ nebo pomocí dialogu. [29]



Obrázek 8 - Plazmový navařovací automat PPC 250 PTM [29]

3 Návrh řešení

Navržený stroj musí vyhovovat následujícím zadaným požadavkům:

- maximální průměr upnutí 2250 mm
- nosnost polohovadla 2200 kg
- rozsah sklonu polohovadla 0-90°
- integrace tří hořáků pro předehřev
- pracovní plošina / plošina pro práci při maximální výšce obrobku
- štít / závěs proti záření

Základ řešení tvoří výběr optimálního polohovadla, návrh polohovacího systému navařovacího hořáku, polohovacího mechanismu hořáků pro předehřev a návrh schodiště s plošinou. Okolí je chráněno proti záření svařovacími závěsy. V příloze práce je uložen výkres sestavy a snímek 3D modelu navrženého řešení. V následujících kapitolách budou uvedeny návrhy jednotlivých komponent. Některé z částí jsou běžně dostupné na trhu, případně řada výrobců umožňuje dodání komponent v úpravě dle specifikací zákazníka.

3.1 Polohovadlo

Prvním krokem při návrhu bylo obeznámení se s dostupnými stolovými polohovadly na trhu. Ty se vyrábějí ve variantách dle počtu řízených os. Ve spolupráci se svařovacími technologiemi z firmy byly zhodnoceny jednotlivé typy. Jednoosé polohovadlo nesplňuje základní požadavky. Dvouosé polohovadlo je nejlevnější možná varianta, nicméně aby splňovalo požadavek upnutí průměru až 2250 mm, jeho základní konstrukce by musela být vysoká, aby lící deska nebo svařenec při naklopení o 90° nekolidoval s rámem či podlahou. Výběr je tedy omezen na tříosé polohovadlo. Varianta typu „L“ je obecně dražší variantou tříosého polohovadla, byl tedy vybrán typ s naklápěním v jedné rovině.

Dále byl na základě známých nebo odhadnutých hodnot parametrů zjednodušeně proveden výpočet potřebného momentu pohonu rotace stolu.

Výpočet momentu setrvačnosti svařované součásti:

$$J_{ss} = \frac{1}{2} \cdot m_{ss} \cdot \left(\frac{D_{ss}}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 2200 \cdot \left(\frac{2,25}{2}\right)^2 = 1392,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (1)$$

Výpočet momentu setrvačnosti lící desky a upínacích součástí:

$$J_{LD} = \frac{1}{2} \cdot (m_{LD} + m_{US}) \cdot \left(\frac{D_{LD}}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot (2500 + 100) \cdot \left(\frac{2,5}{2}\right)^2$$

$$J_{LD} = 2031,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
(2)

Hmotnost lící desky m_{LD} byla zjištěna z CAD modelu, hmotnost upínacích prvků m_{US} byla odhadnuta. Výpočet momentu setrvačnosti rotujících součástí:

$$J_C = J_{SS} + J_{LD} = 1392,19 + 2031,25 = 3423,44 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
(3)

Následuje výpočet momentu hybnosti jako součin momentu setrvačnosti a úhlové rychlosti. Rychlost navařování nebyla přesně zjištěna, potřebné otáčky a úhlovou rychlost nelze přesně spočítat. Z dostupných informací o současně používaném polohovadle ji lze vypočítat přibližně. Je známo, že otáčky polohovadla pro průměr do $d' = 800 \text{ mm}$ dosahovaly hodnot v rozmezí $n' = 0,01 \div 3 \text{ min}^{-1}$, přičemž podstatná je spodní hranice.

$$v' = \omega \cdot r' = \frac{2 \cdot \pi \cdot n'_{\min}}{60} \cdot \frac{d'}{2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,01}{60} \cdot \frac{0,8}{2} = 0,000419 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$
(4)

Tuto hodnotu lze použít pro orientační výpočet minimálních otáček z rovnice (4).

$$n_{\min} = \frac{60 \cdot v'}{\pi \cdot D_{SS}} = \frac{60 \cdot 0,000419}{\pi \cdot 2,25} = 0,004 \text{ min}^{-1}$$

Maximální moment hybnosti vychází z maximálních otáček. Ty nejsou přesně stanoveny, proto budou pro výpočet použity otáčky aktuálního polohovadla $n'_{\max} = 3 \text{ min}^{-1}$.

$$L_C = J_C \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n'_{\max}}{60} = 3423,44 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 3}{60} = 1075,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$
(5)

Pro výpočet rozběhového a brzdného krouticího momentu z maximálního momentu hybnosti [30] je doba rozběhu i zastavení odhadnuta na $t_R = t_Z = 1 \text{ s}$.

$$M_R = M_Z = \frac{L_C}{t_R} = \frac{L_C}{t_Z} = \frac{1075,5}{1} = 1075,5 \text{ Nm}$$
(6)

S ohledem na zadané požadavky a tyto vypočtené hodnoty byl proveden průzkum trhu. Nebylo nalezeno polohovadlo, které by přesně splňovalo veškeré parametry. Proto bude vhodné využít konkrétní nabídky některého z výrobců, kteří poskytují možnost úpravy svých standardních polohovadel dle specifikací zákazníka.

3.1.1 KSK PO 2500 SH


Tabulka 3- Parametry polohovadla PO 2500 SH [19]

Průměr lící desky	1050 mm	
Nosnost	2600 kg	
Naklápění a zdvih	Hydraulicky	
Otáčky stolu	0,14-2,0 min ⁻¹	

Obrázek 9 - PO 2500 SH [19]

3.1.2 SWP PTA 4000-E


Tabulka 4- Parametry polohovadla PTA 4000-E [31]

Průměr lící desky	1500 mm	
Nosnost	4000 kg	
Naklápění	Elektromotor	
Otáčky stolu	0,83 min ⁻¹	
Krouticí moment	400 Nm	
Naklopení stolu	0-130°	

Obrázek 10 – PTA 4000-E [32]

3.1.3 HBT-weld WP 5000

Tabulka 5- Parametry polohovadla WP 5000 [33]

Průměr lící desky	1500 mm	
Nosnost	5000 kg	
Otáčky stolu	0-0,6 min ⁻¹	
Krouticí moment	15000 Nm	
Naklopení stolu	0-120°	

Obrázek 11 – WP 5000 [33]

Ceny jednotlivých polohovadel nebyly výrobci zveřejněny. Lze předpokládat, že vliv na cenu bude mít, mimo jiné, množství a celková náročnost úpravy dle potřebných specifikací. Z dohledaných variant se nejvýhodněji jeví polohovadlo WP 5000 od firmy HBT Weld s.r.o., které splňuje nejvíce požadavků. Na rozdíl od ostatních polohovadel, toto vyhovuje i z hlediska pohonu a rozsahu otáček. Jediným nevyhovujícím parametrem je velikost lící desky, kterou by mělo být možno poměrně snadno vyměnit za větší. Nosnost 5000 kg lze považovat za vyhovující, s ohledem na hmotnost větší lící desky 2500 kg.

3.2 Polohování hořáku

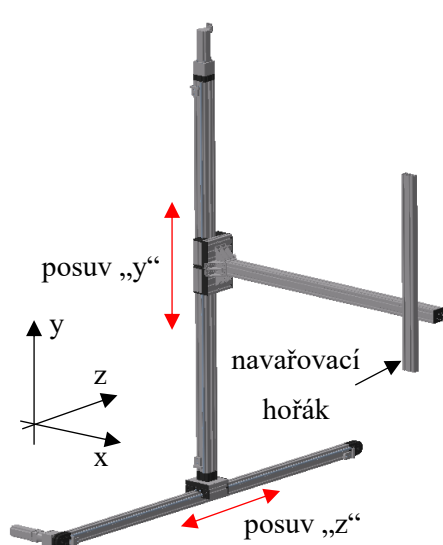
Pro polohování hořáku byly navrženy tři konstrukční varianty polohovacího systému. Všechny varianty jsou navrženy tak, že je umožněn posuv hořáku ve dvou osách („y“ a „z“ – viz. souřadný systém na obr. 12, 13, 14). Mechanizovaný posuv v ose „x“ není nutný, protože navařování nebude probíhat mimo středovou rovinu „yz“ polohovadla. Důležité je tak počáteční ustavení hořáku v ose „x“ vůči polohovadlu. Hořák bude uchycen na konci nosníku o délce 1500 mm. Hmotnost hořáku i s připojovacím příslušenstvím 5 kg byla zjištěna pracovníky firmy. Veškeré mechanizované posuvy jsou realizovány pomocí lineárních jednotek s kuličkovým šroubem.

Varianta č.1 je konstrukčně nejjednodušší. Skládá se z jednoho vodorovného a jednoho svislého vedení. Rameno s hořákem je uchyceno k jezdcí svislého vedení. Výhodami tohoto řešení jsou menší prostorové nároky a jednoduchost konstrukce. Jejím zjevným nedostatkem je nízká tuhost a stabilita. To lze do jisté míry řešit pomocí vyztužovacích nebo vyvažovacích prvků.

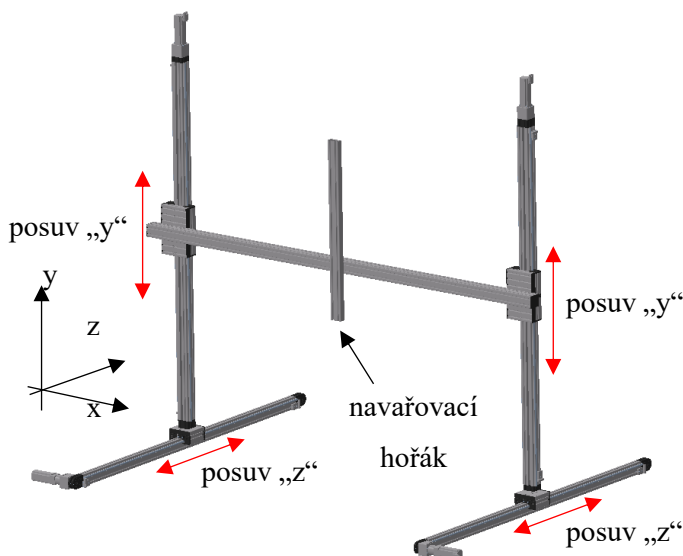
Varianta č. 2 je portálového typu. Skládá se ze 2 horizontálních a 2 vertikálních jednotek, uspořádaným naproti sobě. Mezi nimi je nosník s hořákem. Konce nosníku jsou připevněny k pojezdovým vozíkům vertikálního vedení. Její největší výhodou je eliminace klopného momentu od hmotnosti hořáku. Zatížení od hořáku je ve formě axiální síly na vertikálních vedeních. Konstrukce je jednoduchá. Její nevýhodou jsou prostorové nároky. Portálové uspořádání brání svářeči přístupu k oblasti svaru z obou stran. To je považováno za krajně nevyhovující.

Varianta č. 3 je konstrukčně složitější. Skládá se ze dvou poháněných vertikálních jednotek, jedné vodorovné jednotky s pohonem, a jednoho vodorovného vedení bez pohonu. Hořák je uchycen na nosníku, který je vyztužen vzpěrou. Ta je uchycena k jezdcí horizontálního vedení bez pohonu. Konec nosníku je spojen s jezdce horizontální jednotky s pohonem. Klopný moment je tím rozložen na dva jezdce vodorovných posuvů. Řešení se vzpěrou má za následek větší stavební výšku systému. Výhodou takového řešení je vysoká tuhost a stabilita polohovacího systému. Toto uspořádání, na rozdíl od portálového typu, nezamezuje přístupu svářeči ke svaru. Nevýhodou je složitost konstrukce.

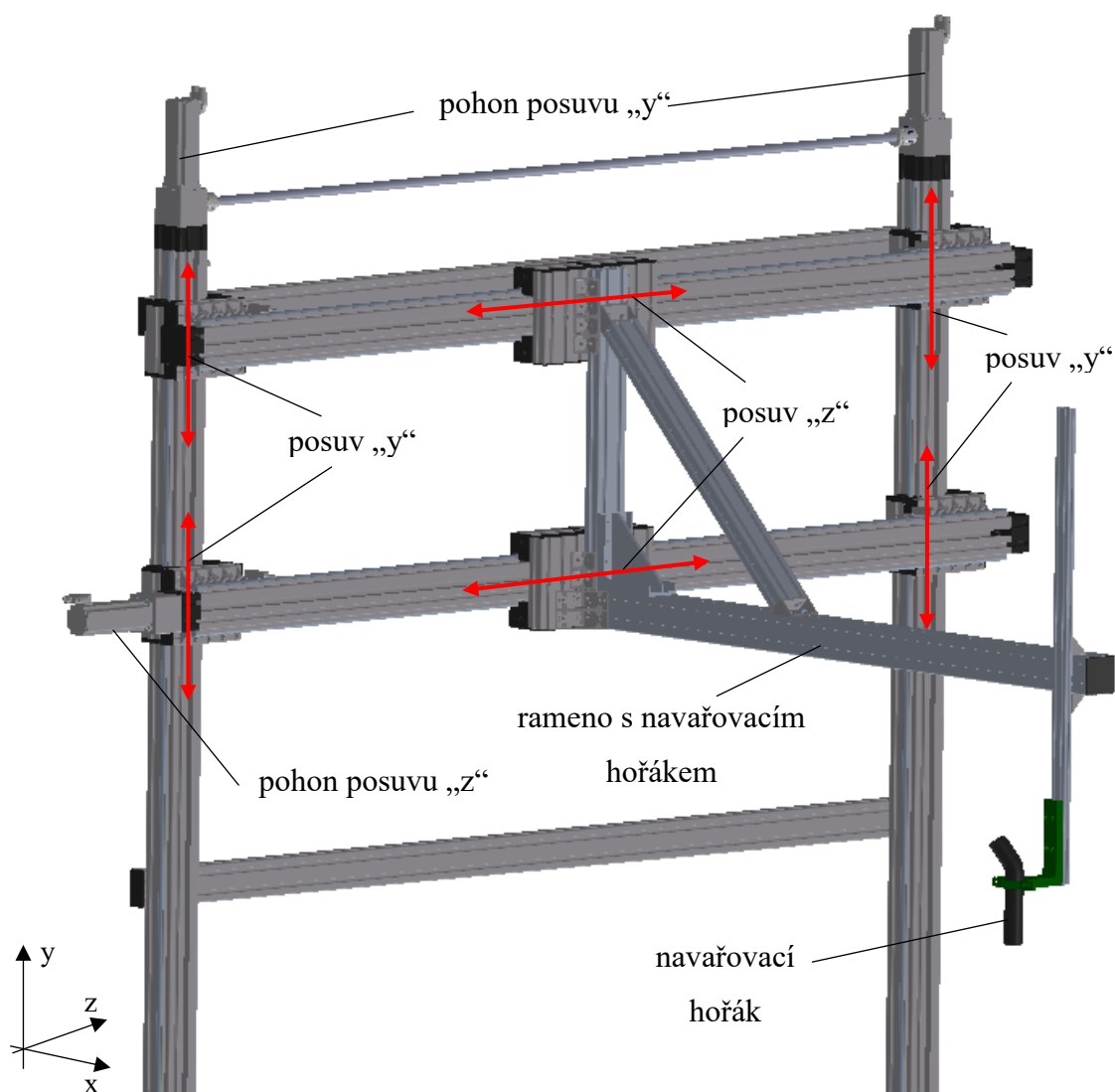
Po zhodnocení předností a nedostatků jednotlivých konstrukcí a konzultaci se svařovacími technologiemi byla vybrána varianta č. 3.



Obrázek 12- Varianta č. 1



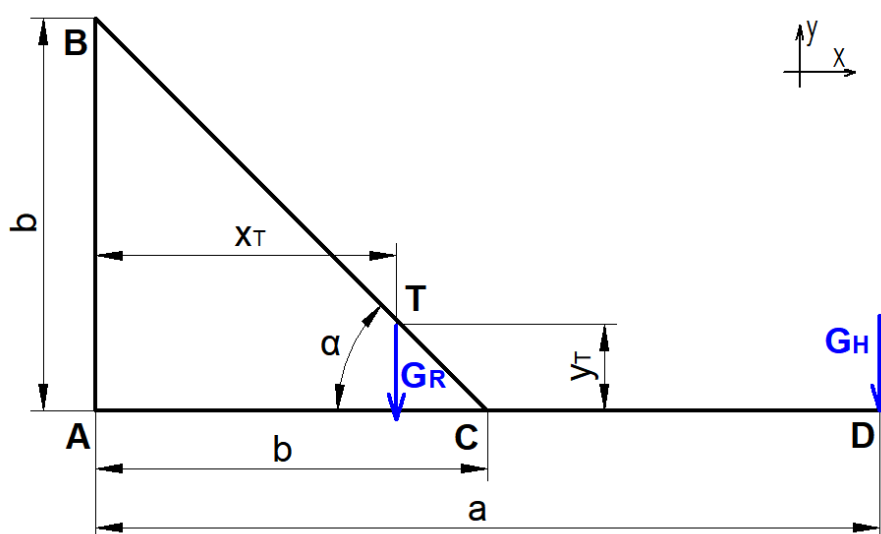
Obrázek 13 - Varianta č. 2



Obrázek 14 - Varianta č. 3

Konstrukce polohovacího mechanismu se skládá z prvků stavebnicového systému firmy ITEM. Rameno je složeno z nosníků s různými profily. Hlavní nosník ramene (vodorovný, směr „x“) má profil ITEM s označením „profil 8 80x80, E“ a délku 1500 mm. Na svém konci má připevněn menší nosník s profilem 40x20 o délce 1000 mm pro uchycení hořáku. Druhý vertikální nosník a vzpěra jsou tvořeny tyčemi s profilem 80x40. Nosníky jsou přichyceny k sobě, resp. k jezdcům lineárních jednotek pomocí spojovacích prvků ITEM, které odpovídají daným profilům, a šroubů. Polohovací systém má zdvih ve směru „z“ 2000 mm a ve směru „y“ 2600 mm. Důležitým parametrem ovlivňujícím přesnost polohování je průhyb hlavního nosníku na jeho konci od hmotnosti hořáku. Dále je třeba vypočítat reakce v místech uchycení k jezdcům posuvného vedení (na obr. 15 označeny A a B) a tyto reakce porovnat s dovolenými hodnotami zatížení vybraných lineárních jednotek.

3.2.1 Výpočet reakcí nosného ramene



Obrázek 15 - Schéma ramene

Výpočtové parametry:

Návrhová délka:	$a = 1500 \text{ mm}$
Návrhová délka:	$b = 750 \text{ mm}$
x-souřadnice těžiště (zjištěno z CAD modelu):	$x_T = 575 \text{ mm}$
y-souřadnice těžiště (zjištěno z CAD modelu):	$y_T = 165 \text{ mm}$
Návrhový úhel:	$\alpha = 45^\circ$
Hmotnost hořáku (zjištěno ve firmě):	$m_H = 5 \text{ kg}$
Hmotnost nosníku 40x20-1000 (zjištěno z CAD modelu):	$m_{40 \times 20} = 0,9 \text{ kg}$
Hmotnost ramene (zjištěno z CAD modelu):	$m_R = 14,6 \text{ kg}$

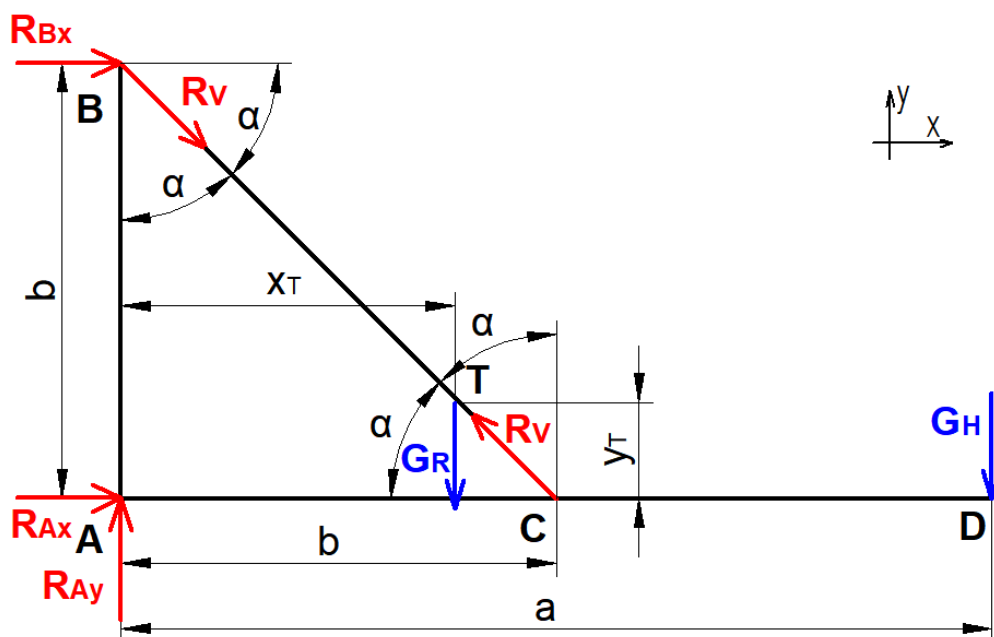
Tíhová síla hořáku:

$$G_H = (m_H + m_{40 \times 20}) \cdot g = (5 + 0,9) \cdot 9,81 = 57,9 \text{ N} \quad (7)$$

Tíhová síla nosného ramene:

$$G_R = m_R \cdot g = 14,6 \cdot 9,81 = 143,2 \text{ N} \quad (8)$$

Klopný moment od hmotnosti hořáku a ramene je díky konstrukčnímu řešení se vzpěrou a uchycením ke dvěma posuvným jednotkám rozložen. Následuje výpočet reakcí v místech uchycení k vozíkům lineárních jednotek. Výpočet je proveden s několika zjednodušujícími předpoklady.



Obrázek 16 - Uvolnění ramene

pozn.: Celá vodorovná lineární jednotka s vozíkem v místě B je uložena na vozících vertikálních vedení s volností ve směru „y“. Toho lze dosáhnout odstraněním matice vozíku. Vozík tak bude pouze veden valivě po kolejnicích vedení.

Aby byla soustava v rovnováze, musí platit, že moment vůči místu A od reakce v místě B, musí být v rovnováze s momentem zapříčiněným hmotností hořáku a ramene. Tedy:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow -R_{Bx} \cdot b = G_H \cdot a + G_R \cdot x_T = G_H \cdot 2 \cdot b + G_R \cdot x_T \quad (9)$$

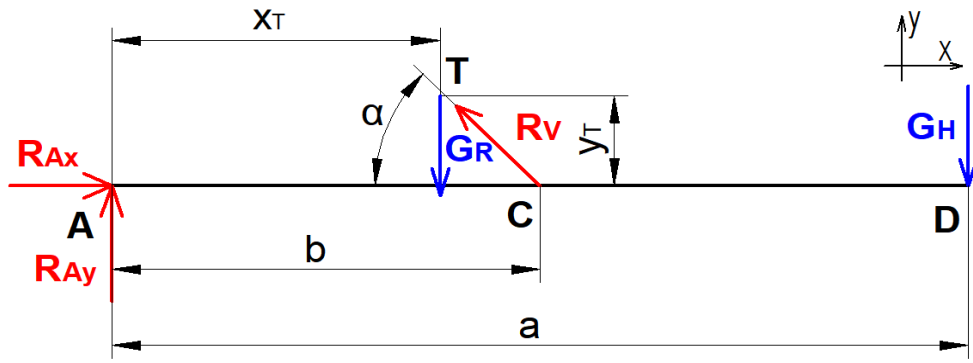
$$R_{Bx} = -\frac{G_H \cdot 2 \cdot b + G_R \cdot x_T}{b} = -\frac{57,9 \cdot 2 \cdot 0,75 + 143,2 \cdot 0,575}{0,75} = -225,6 \text{ N}$$

Pro místo B lze psát rovnici rovnováhy, ze které se vypočítá reakce vzpěry R_V . Pro pozdější výpočet průhybu hlavního nosníku ramene je třeba tuto reakci stanovit v závislosti na tíhové síle hořáku.

$$\sum F_{xB} = 0 = R_{Bx} + R_V \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

$$R_V = -\frac{R_{Bx}}{\cos \alpha} = -\frac{-\frac{G_H \cdot 2 \cdot b + G_R \cdot x_T}{b}}{\cos \alpha} = -\frac{-225,6}{\cos 45^\circ} = 319,0 \text{ N}$$

Dále jsou vypočteny reakce v místě A z rovnic rovnováhy hlavního nosníku ramene.



Obrázek 17 - Uvolnění hlavního nosníku ramene

$$\sum F_x = 0 = R_{Ax} - R_V \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

$$R_{Ax} = R_V \cdot \cos \alpha = 319 \cdot \cos 45^\circ = 115,8 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 = R_{Ay} + R_V \cdot \sin \alpha - G_H - G_R \quad (12)$$

$$R_{Ay} = G_H + G_R - R_V \cdot \sin \alpha = 57,9 + 143,2 - 319 \cdot \sin 45^\circ$$

$$R_{Ay} = -24,5 \text{ N}$$

3.2.2 Výpočet průhybu na konci hlavního nosníku

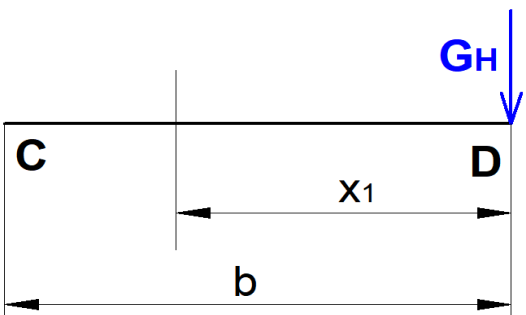
Výpočet průhybu na konci nosníku je proveden pomocí Castiglianovy věty dle [34]. Ta má pro průhyb obecný tvar:

$$y = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \int_l M(x_i) \cdot \frac{\delta M(x_i)}{\delta F} dx_i \quad (13)$$

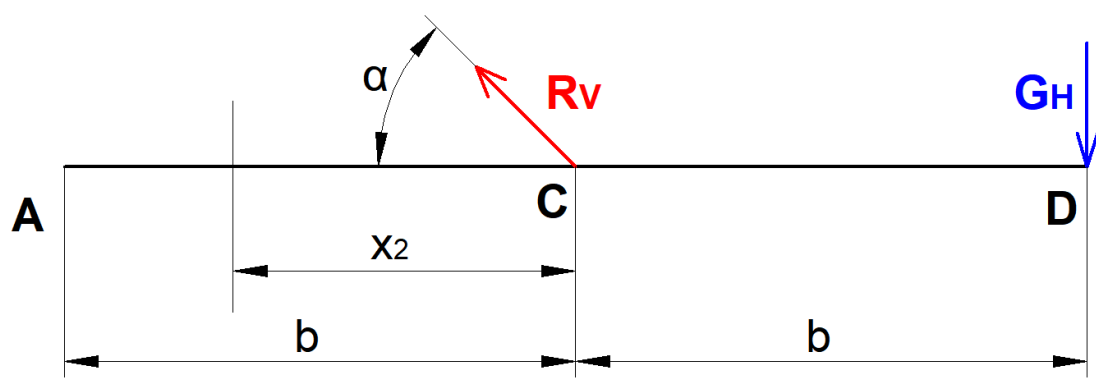
kde E je modul pružnosti v tahu materiálu [MPa], I je kvadratický moment průřezu [mm⁴], $M(x_i)$ je moment [Nm], $\frac{\delta M(x_i)}{\delta F}$ je parciální derivace momentu podle síly, která působí v počítaném místě a l je délka, přes kterou se integruje [mm].

V prvním kroku je třeba rozdělit nosník na úseky. Je vhodné si předem sestavit momentovou rovnici, vzhledem k souřadnici náležící do příslušného úseku, a její parciální derivaci podle síly působící v počítaném místě (v tomto případě v místě označeném na obr. 18 písmenem D). Je důležité, aby síly, které jsou závislé na síle působící v počátečním místě, byly matematicky vyjádřeny jako funkce této síly. Vlastní hmotnost konstrukce je ve výpočtu průhybu zanedbána. Jednotlivé úseky, jejich schémata, momentové rovnice a parciální derivace jsou zaznamenány v tab. 6 a 7. Poté je proveden samotný výpočet průhybu podle rovnice (14).

Tabulka 6 - 1. úsek (zprava)

 <p style="text-align: center;">Obrázek 18 - schéma 1. úseku</p>	
Interval x_1	$x_1 \in \langle 0; b \rangle$
$M(x_1)$	$M(x_1) = G_H \cdot x_1$
Derivace podle G_H	$\frac{\delta M(x_1)}{\delta G_H} = x_1$

Tabulka 7 - 2. úsek (zprava)

 <p style="text-align: center;">Obrázek 19 - schéma 2. úseku</p>	
Interval x_2	$x_2 \in \langle 0; b \rangle$
$M(x_2)$	$M(x_2) = G_H \cdot (x_2 + b) - R_V \cdot \sin \alpha \cdot x_2$ $M(x_2) = G_H \cdot x_2 + G_H \cdot b - \frac{4 \cdot G_H}{\sin \alpha} \cdot \sin \alpha \cdot x_2$ $M(x_2) = G_H \cdot b - 3 \cdot G_H \cdot x_2$
Derivace podle G_H	$\frac{\delta M(x_2)}{\delta G_H} = b - 3 \cdot x_2$

$$y_D = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left\{ \int_0^b G_H \cdot x_1 \cdot x_1 dx_1 + \int_0^b (G_H \cdot b - 3 \cdot G_H \cdot x_2) \cdot (b - 3 \cdot x_2) dx_2 \right\}$$

$$y_D = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left\{ \int_0^b G_H \cdot x_1^2 dx_1 + \int_0^b (G_H \cdot b^2 - 3 \cdot G_H \cdot b \cdot x_2 - 3 \cdot G_H \cdot b \cdot x_2 + 9 \cdot G_H \cdot x_2^2) dx_2 \right\}$$

$$y_D = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left\{ \left[G_H \cdot \frac{x_1^3}{3} \right]_0^b + \left[G_H \cdot b^2 \cdot x_2 - 6 \cdot G_H \cdot b \cdot \frac{x_2^2}{2} + 9 \cdot G_H \cdot \frac{x_2^3}{3} \right]_0^b \right\} \quad (14)$$

$$y_D = \frac{1}{E \cdot I} \cdot \left[G_H \cdot \frac{b^3}{3} + \left(G_H \cdot b^3 - 6 \cdot G_H \cdot \frac{b^3}{2} + 9 \cdot G_H \cdot \frac{b^3}{3} \right) \right]$$

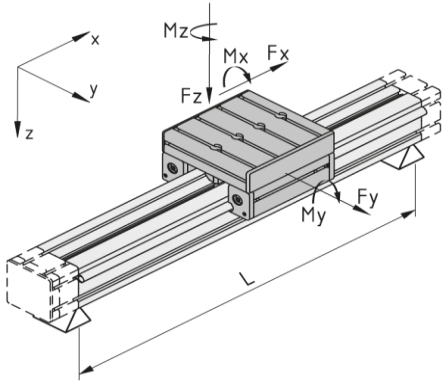
$$y_D = \frac{G_H \cdot b^3}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{3} + 1 - 3 + 3 \right) = \frac{4 \cdot G_H \cdot b^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{4 \cdot 57,9 \cdot 750^3}{3 \cdot 7 \cdot 10^4 \cdot 100,69 \cdot 10^4}$$

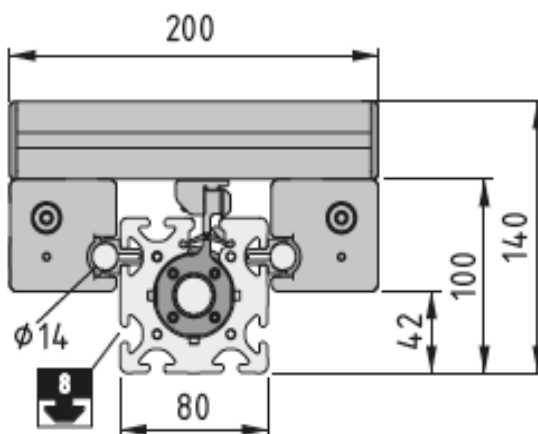
$$y_D = 0,462 \text{ mm}$$

kde modul pružnosti v tahu hliníku je $E = 70000 \text{ MPa}$ [35] a kvadratický moment průřezu ITEM profilu 80x80 je $I = 100,69 \text{ cm}^4$. [36]

Lineární jednotky jsou pro oba vodorovné posuvy shodné, přičemž horní (v místě B) je bez pohonu a slouží pouze pro eliminaci klopného momentu od hořáku. Jednotky nebyly vybrány pouze na základě reakcí, ale také s ohledem na velikost klopných momentů. Byla vybrána lineární jednotka s označením LRE 8 D14 80x80 KGT 20x20 se zdvihem 2000 mm.

Tabulka 8 - Maximální zatížení LRE 8 D14 80x80 KGT 20x20 [26]

$F_{x,\max}$	2000 N	
$F_{y,\max}$	2400 N	
$F_{z,\max}$	1600 N	
$M_{x,\max}$	76 Nm	
$M_{y,\max}$	64 Nm	
$M_{z,\max}$	96 Nm	



Obrázek 20 - Uložení
vozíku na vedení [26]

Tabulka 9 - Parametry LRE 8 D14 80x80 KGT 20x20 [26]

Nosný profil	80x80
Zdvih	2000 mm
Celková délka (zdvih + 400)	2400 mm
Průměr vřetena (šroubu)	20 mm
Stoupání na 1 otáčku	20 mm
Opakovatelná přesnost	0,05 mm
Maximální rychlost	$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Maximální zrychlení	$5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Maximální zdvih	2687 mm
Základní hmotnost (při nulovém zdvihu)	10,4 kg
Hmotnost jednoho milimetru zdvihu	$14,1 \text{ g} \cdot \text{mm}^{-1}$
Celková hmotnost (základní + 2000 mm zdvih)	38,6 kg
Rozměry jezdce	160x200 mm

3.2.3 Výpočty pohonů

Návrh pohonu je proveden na základě axiální síly působící na šroub. Ta je vypočtena jako součin hmotnosti posuvných součástí a zrychlení. Dále je také brán ohled na valivý odpor posuvných jednotek. U vertikálního vedení se na axiálním zatížení šroubu podílí také samotná hmotnost posouvajících částí. Požadavek na zrychlení polohovacího systému není konkrétní, proto bylo vypočteno z odhadnutých hodnot rychlosti a doby rozběhu.

Maximální rychlost posuvu byla odhadnuta na $v_P = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a čas rozběhu na $t_{RP} = 0,5 \text{ s}$. Hmotnost posouvajících částí je složena z hmotnosti hořáku a hmotnosti nosného ramene. Hmotnost ramene včetně spojovacích součástí byla zjištěna z CAD modelu na 13,6 kg. Posouvajícími částmi jsou i jezdce lineárních vedení, jejichž hmotnost je neznámá. Proto bude výpočtová hmotnost z bezpečnostních důvodů navýšena na $m_{Pz} = 30 \text{ kg}$.

$$a_P = \frac{v_P}{t_{RP}} = \frac{0,1}{0,5} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (15)$$

Valivý odpor pojezdového kola vozíku na kolejnici:

$$F_{Vz} = f_v \cdot \frac{F_R}{R} = f_v \cdot \frac{m_{Pz} \cdot g}{R} = 0,0005 \cdot \frac{30 \cdot 9,81}{0,01675} = 8,8 \text{ N} \quad (16)$$

kde rameno valivého odporu pro ocel-ocel je $f_v = 0,0005 \text{ m}$ [37], F_R je radiální síla a R poloměr valivého elementu.

Síla potřebná pro rozběh:

$$F_{az} = m_{Pz} \cdot a_P = 30 \cdot 0,2 = 6 \text{ N} \quad (17)$$

Celková síla ve směru „z“:

$$F_{zc} = F_{Vz} + F_{az} = 8,8 + 6 = 14,8 \text{ N} \quad (18)$$

Potřebné otáčky šroubu pro rychlost posuvu $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a stoupání 20 mm:

$$n_P = \frac{v_P}{p} = \frac{100}{20} = 5 \text{ s}^{-1} = 300 \text{ min}^{-1} \quad (19)$$

Kontrola otáček pro délku šroubu 2400 mm je na obr. 21.

Výpočet hnacího momentu [25]:

$$M_{Pz} = \frac{F_{zc} \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{14,8 \cdot 20}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} = 0,05 \text{ Nm} \quad (20)$$

kde účinnost kuličkového šroubu dle [25] je $\eta = 0,88$.

Výkon pohonu posuvu ve směru „z“:

$$P_{Pz} = M_{Pz} \cdot \omega_P = M_{Pz} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_P}{60} = 0,05 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 300}{60} = 1,68 \text{ W} \quad (21)$$

Výrobce ITEM nabízí k lineárním jednotkám servomotory s výkonem od 200 W a převodovky v poměru 1:3, 1:5 a 1:7. Dále jsou k dispozici kompatibilní servoměniče pro řízení chodu. Pro všechny lineární jednotky jsou dostupné kompatibilní příruby pro připojení jakéhokoliv pohonu z katalogu ITEM. Pro pohon ve směru „z“ byl vybrán motor s brzdou s výkonem 200 W s označením SE 40-035-3-90-R-B. Jmenovité otáčky motoru jsou 9000 min^{-1} . Motor bude připojen na dvě axiální převodovky AP 40-5 s převodovým poměrem 1:5. Celkový převodový poměr tedy bude 1:25. Pohon bude řízen servoměničem C1-02 [26].

Posuv ve směru „y“ je realizován pomocí dvou lineárních jednotek stejné velikosti jako u vertikálního posuvu se zdvihem 2600 mm. Jejich zatížení bude výrazněji navýšeno pouze ve směru „y“ vlivem hmotnosti dvou vodorovných posuvných jednotek. Tíhová síla těchto jednotek:

$$G_{LJz} = 2 \cdot m_{LJz} \cdot g = 2 \cdot 38,6 \cdot 9,81 = 757,3 \text{ N} \quad (22)$$

Obě vertikální jednotky budou poháněny. Výpočet je proveden s předpokladem, že zatížení přenáší pouze jedna z jednotek pro případ, kdy rameno s hořákem bude v krajní pozici u jedné z vertikálních jednotek. Únosnost lineární jednotky je v „y“ směru 2000 N (dle souřadného systému na obrázku v tab. 8 se jedná o sílu F_x). Návrh pohonu je proveden za předpokladu stejného zrychlení jako u vertikálních jednotek, otáčky jsou rovněž shodné. Axiální síla pro rozběh:

$$F_{ay} = m_{py} \cdot a_P = (m_{Pz} + 2 \cdot m_{LJz}) \cdot a_P = (30 + 2 \cdot 38,6) \cdot 0,2 = 21,5 \text{ N} \quad (23)$$

V případě vertikálního vedení je šroub zatížen v axiálním směru také tíhovou silou samotných posouvajících součástí. Axiální síla od hmotnosti posouvajících součástí:

$$F_{gy} = m_{py} \cdot g = (m_{Pz} + 2 \cdot m_{LJz}) \cdot g = (30 + 2 \cdot 38,6) \cdot 9,81 = 1051,6 \text{ N} \quad (24)$$

Valivý odpor:

$$F_{vy} = f_v \cdot \frac{F_R}{R} = f_v \cdot \frac{|R_{Bx}|}{R} = 0,0005 \cdot \frac{225,6}{\frac{0,0335}{2}} = 6,7 \text{ N} \quad (25)$$

Celková síla ve směru „y“:

$$F_{yc} = F_{ay} + F_{gy} + F_{vy} = 21,5 + 1051,6 + 6,7 = 1079,8 \text{ N} \quad (26)$$

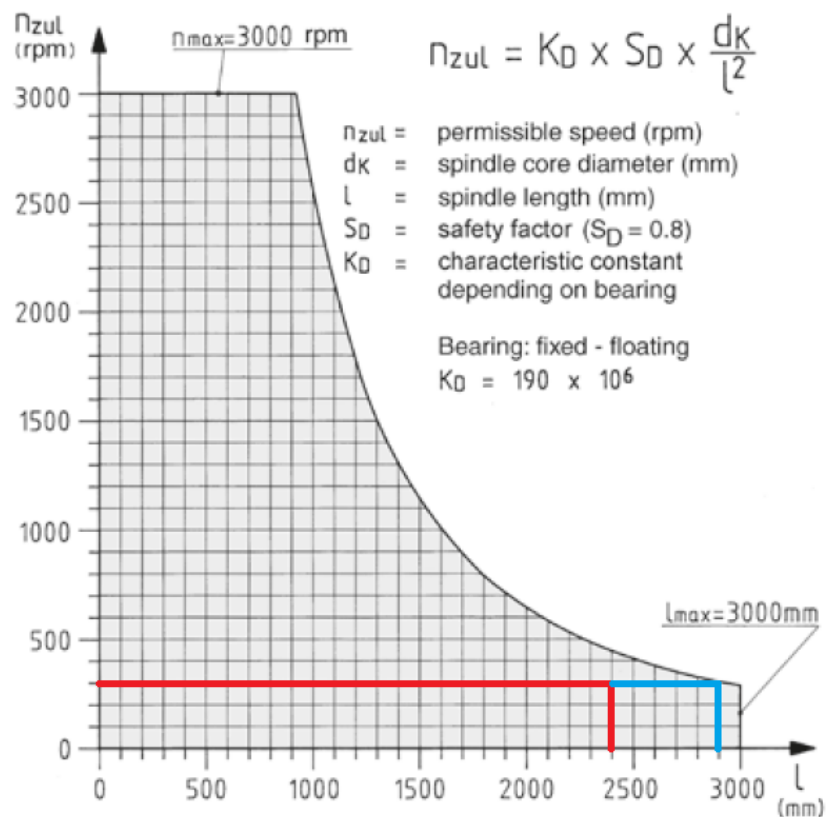
Výpočet hnacího momentu [25]:

$$M_{py} = \frac{F_{yc} \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{1079,8 \cdot 20}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} = 3,91 \text{ Nm} \quad (27)$$

kde účinnost kuličkového šroubu dle [25] je $\eta = 0,88$.

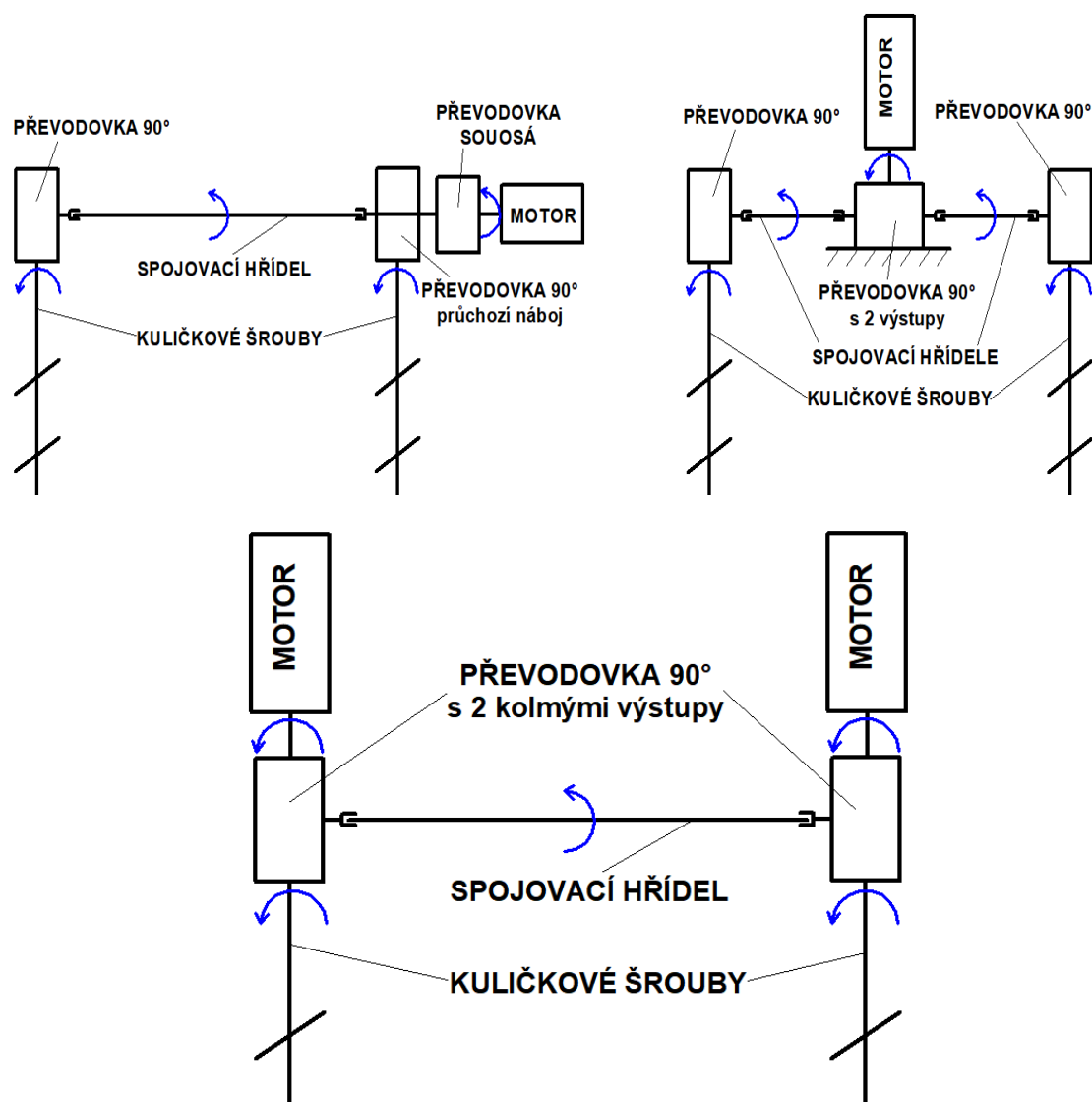
$$P_{py} = M_{py} \cdot \omega_p = M_{pz} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n_p}{60} = 3,91 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 300}{60} = 122,7 \text{ W} \quad (28)$$

Pohon posuvu ve směru „y“ bude realizován motorem SE 40-035-3-90-R-B, s výkonem 200W a se jmenovitými otáčkami 9000 min^{-1} . Stejně jako u posuvu ve směru „z“ bude vybaven dvěma axiálními převodovkami AP 40-5 s celkovým převodovým poměrem 1:25 a servoměničem C1-02 [26].



Obrázek 21 - Kontrola otáček [26]
 červená – horizontální jednotka
 modrá – vertikální jednotky

Souběžné jednotky je možné pohánět synchronizovaně jedním nebo dvěma pohony. Jednotky s kuličkovými šrouby je nutné vybavit úhlovými převodovkami pro připojení spojovací hřídele. Synchronní pohon je možné realizovat s motorem na jedné straně (obr. 22 vlevo). Převodovka na straně motoru musí mít průchozí náboj, aby bylo možné pohánět i druhou jednotku. Osa vstupu převodovky přitom musí být kolmá na osu šroubu. Druhou možností je uložení motoru mezi oběma jednotkami (obr. 22 vpravo). Motor je připojen na úhlovou převodovku se dvěma výstupy. Výstupy jsou propojeny spojovacími hřídeli se vstupy dalších úhlových převodovek na koncích lineárního vedení. Třetí variantou synchronního pohonu je řešení s dvěma pohony a spojovací hřídelí (obr. 22 dole). Navržený posuv ve směru „y“ bude poháněn synchronizovaně s dvěma pohony. Některé komponenty pro synchronizovaný pohon dvou vertikálních jednotek s kuličkovými šrouby, nejsou k dispozici ve standardní nabídce výrobce ITEM. Muselo by se tedy vyžádat konkrétní řešení od výrobce individuálně, případně zajistit komponenty u jiného výrobce.



Obrázek 22 - Schémata variant synchronního pohonu

3.3 Návrh schodiště s plošinou

Schodiště pro práci svářeče při maximální výšce obrobku je navrženo z prvků systému pro schodiště a plošiny od firmy ITEM. Společnost nabízí kompletní řešení dle specifikací zákazníka přes svůj online konfigurátor. [38] Ve standardní nabídce firmy jsou veškeré prvky pro sestavení schodiště, včetně plošiny a zábradlí, a to pro schodiště pod úhly 30°, 38°, 45° a 60°. Charakteristika schodišť dle úhlu:

- 30° - nosná schodiště, jednoduchý výstup pro obsluhu nesoucí břemeno, větší půdorysná zástavba
- 38° - ergonomická schodiště, pro obsluhu s menším břemenem je výstup pohodlný a jednoduchý
- 45° - standardní schodiště, pro obsluhu bez břemena je výstup snadný, pomocná schodiště, úspornější půdorysná zástavba
- 60° - prostorově úsporná schodiště, náročný výstup, minimální půdorysná zástavba, vhodné pro servisní schodiště a občasné výstupy.

Zásady a doporučení pro schodiště a plošiny stanovuje norma ČSN EN ISO 14122: Bezpečnost strojních zařízení - Trvalé prostředky přístupu ke strojním zařízením. Systém schodišť a plošin od firmy ITEM tyto normy splňuje [39]. Dle ČSN EN ISO 14122-3 jsou vyhovující hloubky schodů při různých sklonech schodiště uvedeny v tab. 10. Schodiště dále musí mít z hlediska BOZP minimální šířku rovnou šířce potřebné pro průchod dospělého člověka. Tato průchozí šířka je stanovena na 550 mm. [40]

Tabulka 10 - Hloubky schodů pro daný sklon schodiště [39]


Sklon	30°	38°	45°	60°
Hloubka schodu	320 mm	320 mm	240 mm	160 mm

Navržené schodiště je pod úhlem 45°. Šířka schodiště je 1000 mm. Plošina je umístěna ve výšce 1700 mm nad podlahou, a má rozměry 1000x1200 mm. Hloubka schodu je 240 mm. K překonání výšky od podlahy k plošině má schodiště 9 stupňů, přičemž výška jednoho stupně je 180 mm. Zábradlí schodiště a plošiny je složeno z profilů 8 D40, a příslušných spojovacích součástí, jako jsou úhlové spojky, klouby a patky pro uchycení k profilům. Výška zábradlí je 1000 mm. Plošina je po celém obvodu vybavena

tzv. okopnými lištami pro ochranu před pádem pracovních pomůcek z plošiny. Okopná lišta musí mít dle ČSN EN ISO 14122 minimální výšku 100 mm. Lišta navrhovaného schodiště je tvořena z profilu 8 120x16 E, který má výšku 120 mm, a normě tedy vyhovuje. Schody i panely plošiny jsou k dispozici bez nebo s povrchovou protiskluzovou vrstvou.

Basic configuration		Stairway platform
o Type		
Platform		
o Height		1700 mm
o Depth		1000 mm
o Width		1000 mm
o Grd.-rail pos.		Left, Right, Rear
o Anti-slip feature		Increased (R12)
Stairway		
o Height		1700 mm
o Angle		45°
o Projection		1820 mm
o Usable width		920 mm
o Guard-rail		Left, Right
o Anti-slip feature		Increased (R12)
o Second stairway		-

Summary

A 3D perspective line drawing of a stairway platform. The structure consists of a set of stairs leading up to a rectangular platform. Handrails are installed on both sides of the stairs and around the perimeter of the platform. The drawing shows the structural frame and the placement of the handrails, including vertical posts and horizontal rails.

Summary



Obrázek 23 - Online konfigurátor [38]

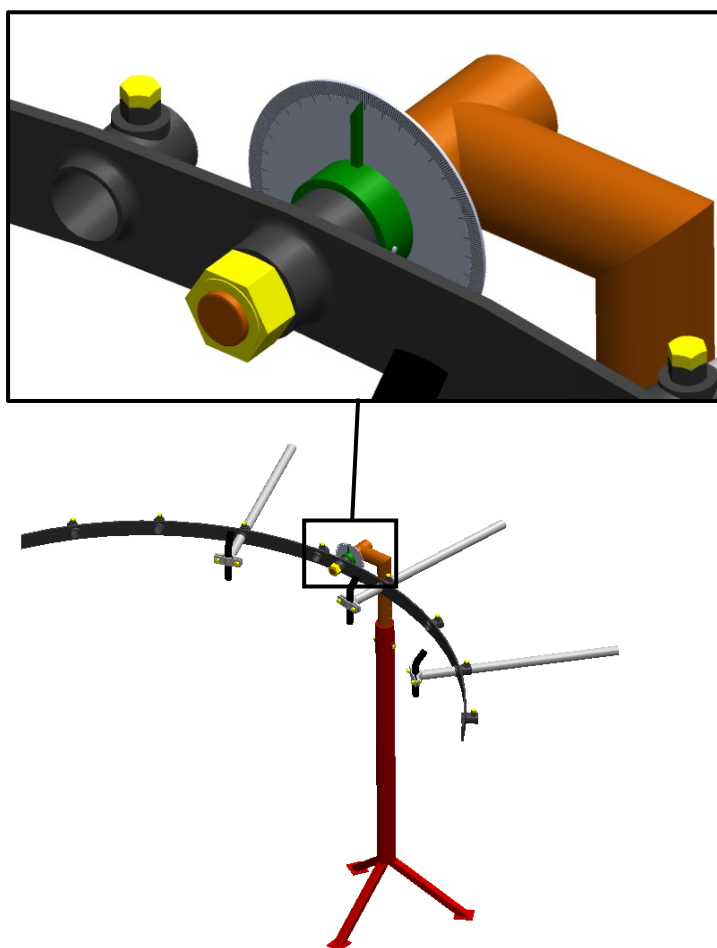
3.4 Polohovací mechanismus přehřívacích hořáků

Polohování přehřívacích hořáků je řešeno pomocí jednoduchého mechanismu. Rám tvoří trubka přivařená k trojnožce pro stabilní umístění na podlaze. V horní části trubky je průchozí radiální vrtání a navařená matice, pro zajištění výsuvné části mechanismu pomocí šroubu. Výsuvná část je trubka uložená uvnitř trubky stojanu. Má po celé své délce radiální otvory pro průchod kolíku, který zajišťuje polohu. Celková výšková nastavitelnost 1000 mm (střed otáčení obruče od 1500 mm do 2500 mm nad podlahou) je rozdělena do 20 kroků po 50 mm. Na konci výsuvné části je na letmém rameni uložen čep, pro otočené uložení obruče. Obruč je tvořena skruženým plechovým pásem s 8 otvory. V těchto otvorech jsou navařeny trubky s radiálním otvorem a přivařenou maticí pro uchycení vidlic s hořáky stavěcími šrouby. Úhlový rozsah uložení vidlic v obruči je 120°, s jednotlivými roztečemi 15°. Obruč je možno naklápět vůči stojanu o 360°. Mechanismus je vybaven úhlovou stupnicí pro případ potřeby přesnějšího nastavení vůči polohovadlu. Úhlová pozice obruče je fixována utažením matice. Vidlice je tvořena trubkou, která má na konci přivařenou

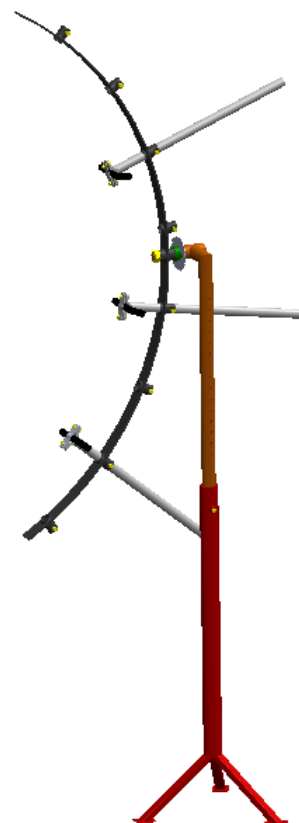
„V“ čelist. Předehřívací hořák je fixován mezi touto čelistí a příložkou pomocí dvojice šroubových spojů.

Další možností hořáků pro předehřev je jejich uchycení k rameni polohovacího systému pro navařovací hořák. To by ovšem výrazně navýšilo klopný moment na lineární jednotky, proto je takové řešení nevyhovující. Dalším možným řešením je použití tří jednotlivých výškově nastavitelných držáků hořáků.

Navržené řešení má výhodu ve své jednoduchosti. Další předností je vysoká variabilita umístění mechanismu, protože není nijak uchycen k některému z rámců ani k podlaze. Jistou komplikací při polohování mechanismu může být umístění v blízkosti polohovacího systému navařovacího hořáku. Při nedostatečné opatrnosti vzniká riziko kolize mezi oběma objekty.



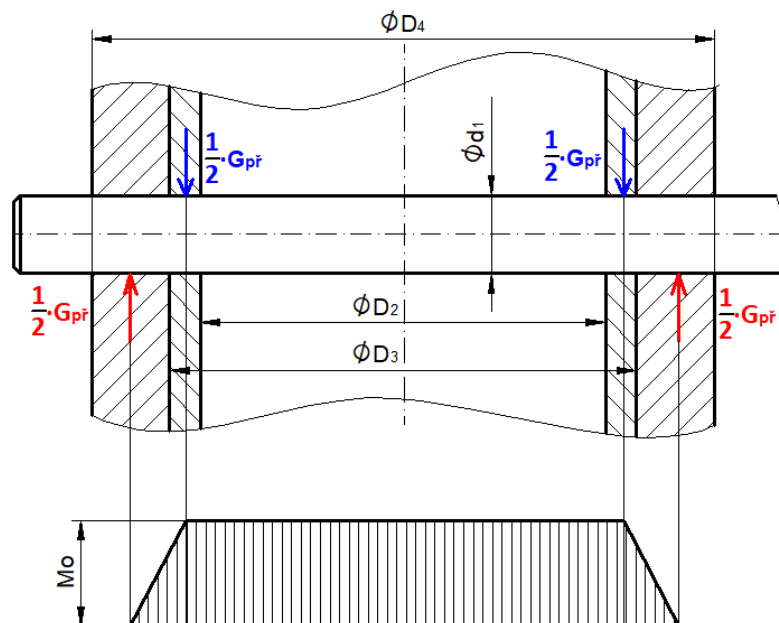
Obrázek 25 - Mechanismus pro polohování předehřívacích hořáků s detailem úhlové stupnice



Obrázek 25 - Mechanismus pro polohování předehřívacích hořáků ve vertikální poloze

3.4.1 Kontrola zajišťovacího čepu

Výsuvná část mechanismu je uložena v trubce stojanu s vůlí. Zajišťovací čep je rovněž uložen v trubkách s vůlí. Proto bude provedena kontrola čepu na ohyb, na stříh a tlak ve stykových plochách.



Obrázek 26 - Zatížení zajišťovacího čepu

Parametry:

Průměr čepu:	$d_1 = 10 \text{ mm}$
Vnitřní průměr výsuvné trubky:	$D_2 = 52 \text{ mm}$
Střední hodnota vnějšího průměru výsuvné trubky a vnitřního průměru trubky stojanu:	$D_3 = 60 \text{ mm}$
Vnější průměr trubky stojanu:	$D_4 = 80 \text{ mm}$
Hmotnost výsuvné části s třemi předehřívacími hořáky (zjištěno z CAD modelu):	$m_{VČ} = 16 \text{ kg}$
Materiál zajišťovacího čepu:	11500
Dovolené napětí v ohybu [41]:	$\sigma_{D_o} = 100 \text{ MPa}$
Dovolené napětí ve smyku [41]:	$\tau_D = 70 \text{ MPa}$
Dovolený měrný tlak [41]:	$p_D = 30 \text{ MPa}$

Tíhová síla výsuvné části se třemi předehřívacími hořáky:

$$G_{př} = m_{VČ} \cdot g = 16 \cdot 9,81 = 157,0 \text{ N} \quad (29)$$

Kontrola na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{1}{2} \cdot G_{př} \cdot \left(\frac{D_3 - D_2}{4} + \frac{D_4 - D_3}{4} \right)}{\frac{\pi \cdot d_1^3}{32}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 157 \cdot \left(\frac{60 - 52}{4} + \frac{80 - 60}{4} \right)}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}} \quad (30)$$
$$\sigma_o = 5,6 \text{ MPa}$$

Dovolené napětí v ohybu je $\sigma_{Do} = 100 \text{ MPa}$, čep tedy na ohyb vyhovuje.

Kontrola na střih

$$\tau_s = \frac{G_{př}}{2 \cdot S} = \frac{G_{př}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} = \frac{157}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^2}{4}} = 1,0 \text{ MPa} \quad (31)$$

Dovolené napětí ve smyku je $\tau_D = 70 \text{ MPa}$, čep tedy na střih vyhovuje.

Kontrola měrného tlaku

$$p_1 = \frac{G_{př}}{d_1 \cdot (D_4 - D_3)} = \frac{157}{10 \cdot (80 - 60)} = 0,8 \text{ MPa} \quad (32)$$

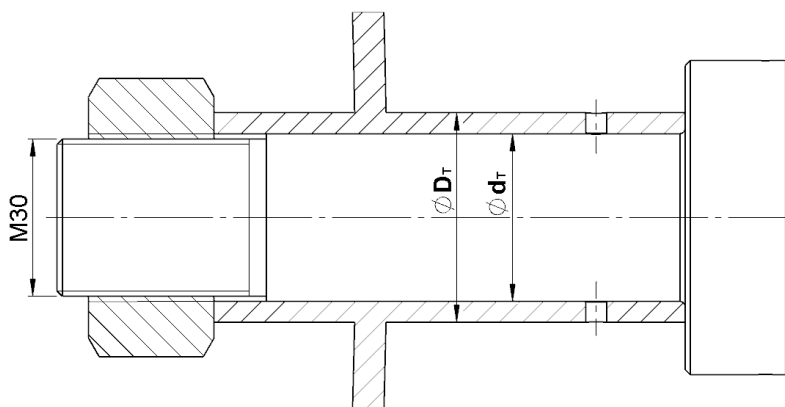
$$p_2 = \frac{G_{př}}{d_1 \cdot (D_3 - D_2)} = \frac{157}{10 \cdot (60 - 52)} = 2,0 \text{ MPa} \quad (33)$$

Dovolený měrný tlak je $p_D = 30 \text{ MPa}$, čep tedy na měrný tlak vyhovuje.

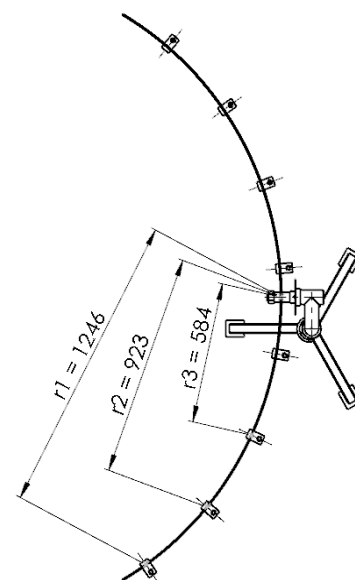
Čep vyhovil bezpečně všem kontrolám a lze tedy považovat za vyhovující.

3.4.2 Výpočet utahovacího momentu matice obruče

Výpočet utahovacího momentu matice obruče vychází z podmínky, že součet třecích momentů mezi stykovými plochami spoje musí být větší než moment od předehřívacích hořáků. Průřez uložením obruče na čepu výsuvné části je zachycen na obr. 27. Výpočet je proveden pro kritickou situaci, kdy všechny tři předehřívací hořáky budou uloženy na jedné straně s nejdelšími možnými vzdálenostmi vůči středu otáčení obruče. Tyto vzdálenosti byly odečteny graficky a jejich hodnoty jsou zakótovány na obr. 28.



Obrázek 27 - uložení obruče na čepu výsuvné části



Obrázek 28 - Vzdálenosti předehřívacích hořáků od středu otáčení obruče

Parametry:

Závit:	M30
Stoupání závitu M30:	$p_{M30} = 3,5 \text{ mm}$
Střední průměr závitu M30:	$d_2 = 27,727 \text{ mm}$
Úhel profilu metrického závitu:	$\alpha_M = 60^\circ$
Součinitel smykového tření na závitu (bez povrchové úpravy šroubu, závit mazaný olejem) [41]:	$f_Z = 0,20$
Součinitel smykového tření mezi maticí a trubicí [35]:	$f_M = 0,15$
Součinitel smykového tření mezi trubicí a opěrnou čelní plochou čepu [35]:	$f_T = 0,15$
Vnější průměr trubky obruče:	$D_T = 40 \text{ mm}$
Vnitřní průměr trubky obruče:	$d_T = 32 \text{ mm}$
Hmotnost předehřívacího hořáku, včetně vidlice a spojovacích částí:	$m_{PH} = 2,2 \text{ kg}$
Rameno (odečteno graficky):	$r_1 = 1,246 \text{ m}$
Rameno (odečteno graficky):	$r_2 = 0,923 \text{ m}$
Rameno (odečteno graficky):	$r_3 = 0,584 \text{ m}$

Výpočet maximálního momentu od tří předehřívacích hořáků:

$$M_{PH,max} = m_{PH} \cdot g \cdot (r_1 + r_2 + r_3) = 2,2 \cdot 9,81 \cdot (1,246 + 0,923 + 0,584)$$

$$M_{PH,max} = 59,4 \text{ Nm}$$
(34)

Podmínka pro zachycení momentu od předeřhřivacích hořáků:

$$M_{TMT} + M_{TTČ} \geq M_{PH,max} \quad (35)$$

kde M_{TMT} je třecí moment mezi maticí a trubkou obruče a $M_{TTČ}$ je třecí moment mezi trubkou obruče a opěrnou čelní plochou čepu výsuvné části. Třecí moment mezi maticí a trubkou je rozložen na kontaktní ploše tvaru mezikruží o průměrech trubky obruče, protože vnější průměr trubky je menší než průměr vepsané kružnice šestihranu matice. Působíště třecí síly obou třecích momentů tedy leží na středním průměru tohoto mezikruží. Se zjednodušujícím předpokladem, že součinitel smykového tření mezi maticí a trubkou, a trubkou a čelní plochou čepu je shodný, lze považovat oba třecí momenty za stejně velké. Pro výpočet třecích momentů mezi kontaktními plochami bude maximální moment od hořáků násoben koeficientem 1,2. Podmínka pak bude mít tvar:

$$2 \cdot M_{TMT} \geq 1,2 \cdot M_{PH,max} \quad (36)$$

Výpočet potřebného třecího momentu mezi maticí a trubkou obruče z rovnice (36):

$$M_{TMT} = \frac{1,2 \cdot M_{PH,max}}{2} = \frac{1,2 \cdot 59,4}{2} = 35,6 \text{ Nm}$$

Pro pozdější výpočet momentu tření v závitech je potřeba znát osovou sílu šroubu. Tu lze vypočítat ze vztahu pro výpočet třecího momentu pod maticí dle [41]:

$$M_{TMT} = F_o \cdot f_M \cdot \frac{D_T + d_T}{4} \quad (37)$$

$$F_o = \frac{4 \cdot M_{TMT}}{f_M \cdot (D_T + d_T)} = \frac{4 \cdot 35,6}{0,15 \cdot (40 + 32)} = 13,3 \text{ kN}$$

Výpočet třecího momentu v závitech [41]:

$$M_{TZ} = F_o \cdot \tan(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2} \quad (38)$$

kde φ' je redukovaný třecí úhel a ψ je úhel stoupání závitu.

$$\varphi' = \tan^{-1} \frac{f_Z}{\cos \frac{\alpha_M}{2}} = \tan^{-1} \frac{0,20}{\cos \frac{60}{2}} = 13,0^\circ \quad (39)$$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{p_{M30}}{\pi \cdot d_2} = \tan^{-1} \frac{3,5}{\pi \cdot 27,727} = 2,3^\circ \quad (40)$$

$$M_{TZ} = 13,3 \cdot \tan(13 + 2,3) \cdot \frac{27,727}{2} = 50,4 \text{ Nm}$$

Výpočet utahovacího momentu, jako součet třecích momentů ve stykových plochách a třecího momentu v závitech [41]:

$$M_U = M_{TZ} + 2 \cdot M_{TMT} = 50,4 + 2 \cdot 35,6 = 121,6 \text{ Nm} \quad (41)$$

Vypočtený utahovací moment lze snadněji vyvodit utahovacím klíčem s prodlouženým ramenem. Dle [41] člověk běžně dosahuje při ručním utahování matice síly $F_U = 100 \div 400 \text{ N}$. Při použití síly $F_U = 300 \text{ N}$ bude potřebná délka ramene utahovacího klíče:

$$r_K = \frac{M_U}{F_U} = \frac{121,6}{300} = 0,405 \text{ m} \quad (42)$$

Doporučený maximální utahovací moment šroubů M30 pevnostní třídy 4.6 je dle [35] 528 Nm. Vypočtený utahovací moment je tedy vyhovující.

3.5 Ochrana proti záření

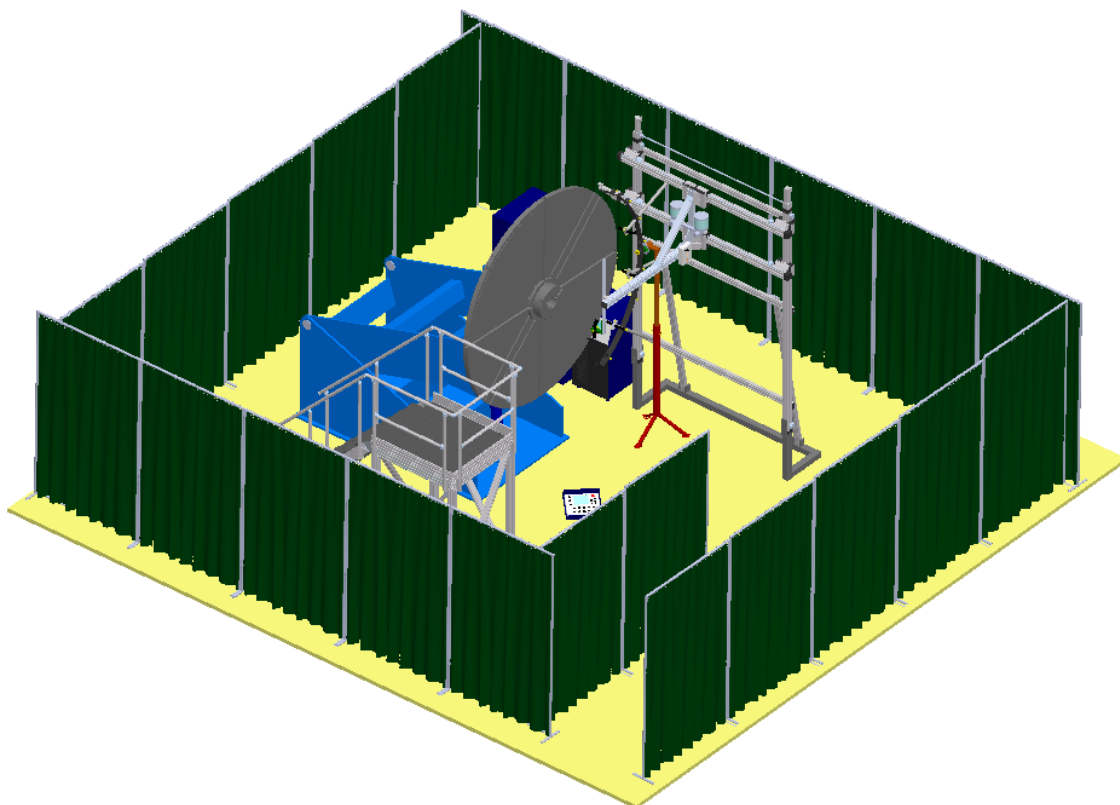
Ochrana okolí svařovacího prostoru před zářením je řešena použitím svařovacích zástěn, resp. závěsů. Účelem je pohlcení jak viditelného světla, tak i infračerveného a ultrafialového záření. Volba zástěny a vhodného stupně zatemnění závisí na požadavcích provozovatele svařovny. V některých případech je potřeba, aby bylo vidět přes tyto zástěny do pracovní oblasti. Ochranou okolí před zářením při svařování se zabývá norma ISO EN 25980: Ochrana zdraví a bezpečnost práce při svařování a příbuzných procesech. Zástěny se vyrábějí ve čtyřech barvách dle stupně zatemnění [42]:

- červená – stupeň zatemnění 4
- bronzová – stupeň zatemnění 6
- zelená – stupeň zatemnění 6
- tmavě zelená – stupeň zatemnění 9



Obrázek 29 - Ochranné svařovací zástěny [42]

V případě navrhovaného stroje požadavek na viditelnost přes zástěny není, je tedy vybrán závěs s nejvyšším stupněm zatemnění, s výškou 2400 mm a šířkou 1400 mm. [43] Pro zastínění celého pracoviště se strojem je potřeba 23 kusů těchto závěsů. Náhled sestavy se zastiňovacími prvky a jejich uspořádáním je zachycen na obr. 30.



Obrázek 30 - Sestava se závěsy

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout svařovací stroj pro navařování tvrdokovu na těsnící prvky průmyslových armatur. Práce byla vypracována pro firmu ARMATURY Group a.s. Bylo stanoveno 6 základních požadavků: maximální průměr upnutí 2250 mm, maximální nosnost polohovadla 2200 kg, rozsah sklonu polohovadla 0-90°, integrace tří hořáků pro přehřev, pracovní schody / plošina, štít / závěs proti záření.

V úvodu práce byla vypracována teoretická část, která se zabývá technologií navařování, její aplikací a používanými metodami a materiály. Dále je v teoretické části přiblížena mechanizace navařování, hlavní prvky svařovacích strojů, tedy polohovadla a možnosti polohování navařovacího hořáku. Dále bylo charakterizováno řešení navařovacího automatu PPC 250 PTM od firmy KSK.

V další části práce je vypracován vlastní návrh řešení svařovacího stroje na základě zadaných požadavků. Navržený stroj se skládá ze dvou hlavních funkčních systémů – polohovadla a polohovacího systému navařovacího hořáku. První část vlastního řešení se zabývá výpočty polohovadla. Na základě vypočtených hodnot a konzultace typu polohovadla se svařovacími technology z firmy byl proveden průzkum trhu. Při průzkumu trhu nebylo nalezeno polohovadlo, které by splňovalo všechny potřebné parametry. Někteří výrobci ovšem umožňují dodání svých polohovadel s úpravami dle specifikací zákazníka. Bylo vybráno polohovadlo firmy HBT Weld s.r.o., konkrétně typ WP 5000, který v základu vyhovuje nejvíce požadavkům. Jedinou nutnou úpravou polohovadla je výměna lící desky. Dalším krokem vlastního řešení byl návrh polohovacího systému navařovacího hořáku. Byly vypracovány tři konstrukční varianty, z nich byla ve spolupráci se svařovacími technology vybrána nejvhodnější. Polohovací systém se skládá z prvků stavebnicového systému a lineárních jednotek firmy ITEM, která je v ČR zastoupena společností HABERKORN. Systém je složen z nosného ramene navařovacího hořáku a lineárních jednotek s kuličkovými šrouby. Horizontální posuv je 2000 mm a vertikální 2600 mm. Posuv ve třetí ose nebyl mechanizován, protože navařování bude probíhat ve středové rovině polohovadla. Dalším krokem vlastního řešení je návrh schodiště s plošinou, pro práci svářeče při maximální výšce obrobku. Schodiště s plošinou bylo navrženo z komponent firmy ITEM, která nabízí komplexní řešení ve svém systému schodišť a plošin (TPS). Šířka schodiště je 1000 mm, rozměry plošiny 1000x1000 mm. Plošina je umístěna ve výšce 1700 mm nad podlahou. Schodiště vyhovuje normě EN ISO 14122. Následně byl

vypracován návrh mechanismu pro polohování a držení tří předeřřivacích hořáků. Byl navržen jednoduchý mechanismus s výškovou nastavitelností a otočnou obručí s hořáky. Byl zkontrolován zajišťující čep mechanismu, přičemž všem kontrolám vyhověl. Dále byl vypočítán potřebný utahovací moment pro zajištění polohy obruče s navařovacími hořáky. Poslední fází vlastního návrhu je výběr prvků pro ochranu okolí před zářením ze svařovacího pracoviště. Součástí vlastního řešení je celkový sestavný výkres stroje a výkres podsestavy mechanismu pro polohování předeřřivacích hořáků a výrobní výkres svařované obruče. Tyto výkresy jsou uloženy v příloze práce. Náhled 3D modelu navrženého stroje je uložen rovněž v příloze. Navržené řešení navařovacího stroje splňuje všechny požadavky zadání.

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Danielu Pišťáčkovi PhD. za odborné vedení při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Patriku Sniehoffovi PhD. za cenné rady a konzultace. Mé poděkování též patří zaměstnancům společnosti ARMATURY Group a.s. za poskytnutí cenných informací a ochotnou spolupráci při tvorbě této práce.

5 Seznam použitých zdrojů a literatury

1. ESAB VAMBERK, s.r.o., *Příručka pro svařování: opravy a údržba* [online]. Vamberk: ESAB VAMBERK, s.r.o., 2008, 5. aktualizované vydání. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: http://products.esab.com/ESABImages/opravy_renovace.pdf.
2. AMBROŽ, Oldřich, KANDUS, Bohumil, KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: ZERROS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
3. LAPŠANSKÁ, Hana. *Přehled metod svařování* [online]. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/lapsanska_prehled_metod_svarovani.pdf.
4. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace* [online]. Brno: 2018. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/lapsanska_prehled_metod_svarovani.pdf.
5. KSK s.r.o. *Návar sedla* [online]. Česká Třebová: 2016 [cit. 18. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.kskct.cz/cs/fotogalerie/navar-sedla/>.
6. HLAVATÝ, Ivo. *Přehled technologií svařování* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 14.1.2019 [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/03Prehled.pdf>.
7. MORAVEC, Jaromír. *Kurzy svářečských technologií a inženýrů IWT/IWE: Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou* [online]. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/38728580-Rucni-obloukove-svarovani-obalenou-elektrodou.html>.
8. ESAB VAMBERK, s.r.o. *Technická příručka: Příručka pro svařování pod tavidlem* [online]. Vamberk: ESAB VAMBERK, s.r.o., 2009. [cit. 27. 2. 2019] Dostupné z: [http://products.esab.com/ESABImages/SAW_CZ2009\(2\).pdf](http://products.esab.com/ESABImages/SAW_CZ2009(2).pdf).
9. HLAVATÝ, Ivo. *Svařování automatem pod tavidlem (121)*. [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 14.1.2019 [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/06-121.pdf>.

10. HLAVATÝ, Ivo. *Plazmové svařování (navařování)*. [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 14.1.2019 [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-01-15.pdf>.
11. HLAVATÝ, Ivo. *Svařování laserem (51)*. [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 14.1.2019 [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-03--52.pdf>.
12. TRUMPF Praha, spol. s.r.o. *Laserové navařování*. [online]. 2010. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://infocube.cz/wp-content/uploads/2012/04/kovoinzert-top-1-2010-28-29.pdf>.
13. ČSN EN 14700. *Svařovací materiály – Svařovací materiály pro tvrdé návary*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 20 s. Třídící znak: 05 5020.
14. SEXTON, Leo. *Hardfacing: Traditional versus Laser*. [online]. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://laserage.eu/wp-content/uploads/2017/03/Hardfacing-Traditional-vs-Laser-LaserAge-Ltd.pdf>.
15. KENNAMETAL Inc. *Stellite Alloys*. [online]. 2018. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Stellite/B-18-05723_KMT_Stellite_Alloys_Brochure_Direct_update_LR.pdf.
16. KOLAŘÍK, L. *Automatizace výrobních procesů svařování*. [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze. [cit. 12. 3. 2019]. Dostupné z: <http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/4/05-AVP-svarovani.pdf>.
17. HLAVATÝ, Ivo. *Svařovací přípravky, polohovadla a manipulátory*. [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 14.1.2019 [cit. 12. 3. 2019]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~hla80/Vyuka/2008_%20SS4.pdf.
18. *SPEKTRUM: Obchodně technický zpravodaj* [online]. Vamberk: ESAB VAMBERK, 2010, 2010 (2) [cit. 12. 3. 2019]. Dostupné z: https://www.esab.cz/cz/cz/news/spektrum/upload/spektrum2_2010-cz_final.pdf.

19. KSK s.r.o. *KSK – Polohovadla* [online]. Česká Třebová: 2016 [cit. 18. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.ksket.cz/cs/polohovadla>.
20. KOVACO spol s.r.o. *Welding positioners – Basic info* [online]. 2019 [cit. 18. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.kovacocompany.com/welding-positioners/m10/p17>.
21. Pět věcí, které je třeba zvážit při výběru lineárního pohonu. In: *E-konstruktor: Portál pro stojní konstruktéry* [online]. 25. 1. 2015, ©2013-2017 [cit. 12. 3. 2019]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/pet-veci-ktere-je-treba-zvazit-pri-vyberu-linearniho-pohonu>.
22. T.E.A. TECHNIK s.r.o. *Lineární vedení ALUROL* [online]. 2015 [cit. 18. 3. 2019]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc/katalogy_3/02_Linearni_vedeni_Alurool_NEW.pdf.
23. RAVEO s.r.o., *Lineární motory* [online]. Otrokovice [cit. 14. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/linearni-motory-BAHR>.
24. HOSNEDL, Stanislav, KRÁTKÝ, Jaroslav. *Příručka strojního inženýra: Obecné strojní části 2*. 1. vydání. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-202-5.
25. HIWIN s.r.o. *Kuličkové šrouby* [online]. Brno: HIWIN s.r.o., 2018 [cit. 13. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download>.
26. item Industrietechnik GmbH. *The item Automation System: Comprehensive Catalogue* [online]. Solingen: item Industrietechnik GmbH, 05/2017 [cit. 14. 3. 2019]. Dostupné z: https://www.haberkorn.cz/data/uploads/Download/Brozura/ss-item-linearni_jednotky/ss-item-linearni_jednotky_EN.pdf.
27. KRÁL, Stanislav. *Návrh metodiky pro volbu základních komponent lineárních os obráběcího stroje*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce: Ing. Michal Holub, PhD. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=55696.
28. item Industrietechnik GmbH. Konfiguratory. *item International* [online]. Solingen: item Industrietechnik GmbH, 2019 [cit. 14. 3. 2019]. Dostupné z: <https://cz.item24.com/cs/zakaznicka-reseni/konfigurator/>.

29. KSK s.r.o. *PPC 250 PTM* [online]. Česká Třebová [cit. 14. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.kskct.cz/wp-content/uploads/2016/03/PPC-250-PTM.pdf>.
30. JAKOUBEK, Ondřej. *Řešení otočného stolu „D“ s nosností 2 x 1 500 kg*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63505/F2-DP-2015-Jakoubek-Ondrej-DP_Jakoubek_1712.pdf?sequence=-1.
31. WELDPOINT s.r.o. *3-osá rotační polohovadla* [online]. Zakřany: © 2006-2018 [cit. 28. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.weldpoint.eu/shop/download/Polohovac%ED%20syst%E9my/21-3-osa-rotacni-polohovadla.pdf>.
32. SWP s.r.l. *PTA 4000-E Serie PTA-E* [online]. Padova: 2019 [cit. 18. 3. 2019]. Dostupné z: http://www.sartorewelding.com/eng/prodotti-scheda.php?id_cat=13&id_prod=51.
33. HBT-weld s.r.o. *Rotační polohovadla WP 800, WP 1500, WP 3000, WP 5000, WP 10000, WP 50000* [online]. České Budějovice [cit. 28. 3. 2019]. Dostupné z: <http://www.hbt-weld.cz/katalog/rotacni-polohovadla-wp-800-wp-1500-wp-3000-wp-5000-wp-10000-wp-50000/>.
34. LIČKOVÁ, Dagmar. *Pružnost a pevnost 1: 7. cvičení* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava [cit. 13. 4. 2019]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~lic098/files/7.cviceni.pdf>.
35. ŘASA, Jaroslav, ŠVERCL, Josef. *Strojnické tabulky 1 pro školu a praxi*. 1. vydání. Praha: Scientia, spol s.r.o., pedagogické nakladatelství. 2004. ISBN 80-7183-312-6.
36. item Industrietechnik GmbH. *MB Building Kit System: The Comprehensive Catalogue* [online]. Solingen: item Industrietechnik GmbH, 08/2017 [cit. 23. 4. 2019]. Dostupné z: https://www.haberkorn.cz/data/uploads/Download/Katalog/ss-item-mb_9/ss-item-mb_9_en.pdf.
37. BEARDMORE, Roy. *Coefficients of Friction* [online]. 2013 [cit. 23. 4. 2019]. Dostupné z: http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm#Rolling.

38. item Industrietechnik GmbH. *Query Assistant for the Stairway/Platform System* [online]. Solingen: item Industrietechnik GmbH, 2019 [cit. 10. 4. 2019]. Dostupné z: https://cz-catalog.item24.com/tps/index_tps.php?step=index.
39. item Industrietechnik GmbH. *Systém pro schodiště a plošiny: Kompletní katalog* [online]. Solingen: item Industrietechnik GmbH, 09/2016 [cit. 24. 4. 2019]. Dostupné z: https://www.haberkorn.cz/data/uploads/Download/Brozura/ss-item-tps/ss-item-tps_cz.pdf.
40. Encyklopedie BOZP. *Průchozí šířka* [online]. 7. 4. 2007 [cit. 24. 4. 2019]. Dostupné z: http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Pr%C5%AFchoz%C3%AD_%C5%A1%C3%AD%C5%99ka
41. KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů pro bakaláře: části spojovací. 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8. Skripta. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
42. WELDO s.r.o. *Jak vybrat vhodnou tmavost svařovacích zástěn pro svařovací boxy?* [online]. Ostrava: 15. 4. 2018 [cit. 24. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.weldingostrava.cz/jak-vybrat-vhodnou-tmavost-svarovacich-zasten-pro-svarovaci-boxy/>.
43. VMBal s.r.o. *Svařovací závěs 240 x 140 cm* [online]. Ostrava [cit. 24. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.vmbal.cz/p/svarovaci-zaves-240-x-140-cm>.

6 Seznam příloh

Příloha A – Sestavný výkres – DP-01

Příloha B – Sestavný výkres mechanismu předehřívacích hořáků – DP-01-01

Příloha C – Výrobní výkres obruče mechanismu předehřívacích hořáků – DP-01-01-01

Příloha D – Snímek 3D modelu sestavy

Příloha E – Snímek 3D modelu mechanismu polohovacích hořáků